

PÁGINA EN BLANCO

DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA
REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE

CARLOS ADOLFO ÁLVAREZ ESGUERRA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA

2020

DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA
REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE

CARLOS ADOLFO ÁLVAREZ ESGUERRA

Trabajo de investigación formativa para optar el título de ingeniero mecánico

Director:

M. SC, Ph.D JOSE LUDDEY MARULANDA ARÉVALO



Universidad
Tecnológica
de Pereira

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2020

Nota de aceptación

Firma del jurado evaluador:

José Luddey Marulanda

Pereira, 01 de septiembre de 2020

DEDICATORIA

Éste trabajo de grado está dedicado a mi madre que hasta el último momento me apoyó moral y económicamente. A mi padre que me acompaña desde el cielo guiándome permanentemente. A mi hijo Andrés que llegó a mi vida a ponerle dirección a la misma. A la tía Herlinda que desde el principio recibí apoyo constante, a mi abuela Concepción, que me enseñó el concepto de “Trabajo” y a toda mi familia que constantemente me animaba para terminar éste proyecto de vida que comenzó en el 2004.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por haberme dado la oportunidad de compartir durante todos estos años con mis compañeros y profesores quienes nos brindaron conocimientos y ratos agradables, por la sabiduría y la sapiencia que necesité para culminar éste proyecto.

Gracias al Ingeniero José Luddey Marulanda que, por sus asesorías, consejos y vastos conocimientos, logró que llegara a feliz término.

Al ingeniero Gabriel Calle por la realización de los ensayos en los laboratorios en época de pandemia.

Y a los demás profesores de la facultad que en su momento me brindaron ese conocimiento académico (Saúl Villabona, Eduardo Mosquera, Hernando Villa, Carlos Orozco, entre otros).

Finalmente, al resto de personas que hicieron parte de éste proyecto y que aportaron un granito de arena para la culminación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	16
1.1 INTRODUCCIÓN	16
1.2 JUSTIFICACIÓN	18
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
2. MATERIALES COMPUESTOS	20
2.1 Definición	20
2.2 Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de matriz	21
2.3 Matriz Polimérica (PMC)	21
2.3.1 Tipos de Resina	23
2.3.2 Resina poliéster	23
2.3.3 Resina viniléster	24
2.3.4 Resina epóxi	25
2.4 Matriz Metálica (CMM)	25
2.5 Matriz Cerámica (CMC)	27
3. FIBRAS	28
3.1 Fibras naturales	28
3.2 Clasificación de las fibras	29
3.3 Tratamiento de fibras de origen vegetal	30
3.4 Características de compuestos reforzados con fibras naturales	31

4. MATERIALES Y EQUIPOS	32
4.1 INTRODUCCIÓN	32
4.2 Fibra de fique	32
4.3 Adhesivo termofusible Hot Melt	33
4.4 Balanza electrónica	34
4.5 Hidróxido de Sodio NaOH	34
4.6 Horno	35
4.7 Molde para matriz	35
4.8 Sierra sin fin	36
4.9 Maquina Universal de ensayo (Tracción)	37
4.10 Maquina Universal de ensayo (Flexión)	37
4.11 Resina 856	38
4.12 Catalizador	39
5. PREPARACIÓN DE LA FIBRA DE FIQUE	40
5.1 Preparación manual de la fibra	41
5.2 Tratamiento químico de la fibra	42
5.3 Secado de la fibra	42
6. CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ	43
6.1 Preparación del molde	43
7. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS	46
7.1 Primer grupo de probetas	46
7.2 Marcado y corte de probetas	47
7.3 Segundo grupo de probetas	47

8. ENSAYO DE ESFUERZOS	49
8.1 Prueba de tracción	49
8.2 Prueba de flexión	50
9. RESULTADOS Y ANÁLISIS	51
9.1 PRUEBAS A TRACCIÓN	51
9.1.1 Curvas esfuerzo vs deformación	53
9.1.2 Análisis del esfuerzo último a tracción.	56
9.2 PRUEBA A FLEXIÓN	57
9.2.1 Curvas esfuerzo vs deformación	58
9.2.2 Análisis del esfuerzo máximo a la flexión	60
10. CONCLUSIONES	62
11. RECOMENDACIONES	63
 REFERENCIAS	 64
ANEXO 1. FICHA TÉCNICA RESINA P-856	66
ANEXO 2: FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL CATALIZADOR	69
ANEXO 3: NORMA TÉCNICA INTERNACIONAL ASTM D-30309	75
ANEXO 4: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE MAQUINA UNIVERSAL	79
DE ENSAYO UMIB 600S	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Refuerzos típicos utilizados en compuestos de matriz metálica.	26
Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas de las diferentes fibras naturales utilizadas en los materiales compuestos.	28
Tabla 3: densidad y el contenido para algodón, cáñamo, yute y lino.	31
Tabla 4: Características de la fibra de fique	33
Tabla 5: Especificación técnica del adhesivo Hot Melt.	34
Tabla 6: Propiedades químicas de la Resina Poliéster.	39
Tabla 7: Resultados de gráfica Fuerza vs Deformación en mm.	54
Tabla 8: Resultados de gráfica Fuerza vs Deformación en %.	55
Tabla 9: Resultados de la gráfica # 1, Esfuerzo vs Deformación a flexión.	59
Tabla 10 Resultados de la gráfica # 2, Esfuerzo vs Deformación a flexión.	60

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación y tipos de materiales compuestos.	20
Figura 2. Aumento del módulo de Young de una MMC.	27
Figura 3. Clasificación de fibras naturales de origen renovable.	29
Figura 4: Planta de Fique (<i>Furcraea Macrophylla</i>).	32
Figura 5: Adhesivo de laminación Hot Melt.	33
Figura 6: Balanza electrónica marca Kitchen	34
Figura 7: Hidróxido de Sodio.	35
Figura 8: Horno eléctrico advanced protocol ovens.	35
Figura 9: Moldes para matriz.	36
Figura 10: Sierra sin fin.	36
Figura 11: Maquina Universal de ensayos ZD 40 WPM (Tracción).	37
Figura 12: Maquina Universal de ensayos UMIB-600S (Flexión).	38
Figura 13: Resina poliéster Cristalan 856.	38
Figura 14: Catalizador Luperox® DDM-9	39
Figura 15: Saco de fique en su forma de fábrica.	40
Figura 16: Cuadro completo de fibra de fique.	40
Figura 17: Espacio de trabajo de la fibra de fique y técnica manual utilizada.	41
Figura 18: Muestras de fique hechas manualmente.	41
Figura 19: Fibras sumergidas en hidróxido de sodio.	42

Figura 20: a) Fibra húmeda, b) Fibra seca.	43
Figura 21: Molde siliconado.	44
Figura 22: Tapa superior forrada con teflón.	44
Figura 23: Matriz de teflón con refuerzo y adhesivo.	44
Figura 24: Molde metálico.	45
Figura 25: Matriz metálica con película vinipel.	45
Figura 26: Matriz metálica con Resina + Catalizador.	45
Figura 27: a) Franja apta para las probetas, b) Zona no tomada en cuenta para las probetas.	46
Figura 28: Marcación de las probetas Hot Melt.	47
Figura 29: Probetas con adhesivo Hot Melt.	47
Figura 30: a) Matriz Resina + Catalizador, b) Matriz delimitada para corte.	48
Figura 31: a) Corte de las probetas, b) Probetas de Resina + Catalizador.	48
Figura 32: Máquina Universal de ensayos WPM 40-LC412-75K-DUAL empleada para obtener las medidas de tracción.	49
Figura 33: Montaje y ejecución de la prueba de flexión.	50
Figura 34: Medición de la probeta # 1 a tracción.	51
Figura 35: Medición de la probeta # 2 a tracción.	52
Figura 36: Probetas fracturadas después de la prueba a tracción, matriz # 1.	52
Figura 37: Probetas fracturadas después de la prueba a tracción, matriz # 2.	53
Figura 38: Medición de la probeta a flexión.	57

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1: Fuerza vs Deformación medida en mm, a tracción.	54
Gráfica 2: Fuerza vs Deformación medida en %, a tracción.	55
Gráfica 3: Diagrama de barras de la resistencia máxima a tracción de las probetas.	56
Gráfica 4: Fuerza vs Deformación medida en mm, a flexión # 1.	58
Gráfica 5: Fuerza vs Deformación medida en mm, a flexión # 2.	59
Gráfica 6: Diagrama de barras de la resistencia máxima a flexión de las probetas.	62

RESUMEN

En este documento se realiza un estudio para desarrollar un material compuesto a partir de una matriz polimérica reforzada con fibra de fique. Se menciona los procesos de fabricación de las matrices poliméricas y el tratamiento a la fibra natural. Se describe el proceso de calentamiento del adhesivo, la unión con la fibra de fique y su posterior curado; se explica el proceso de corte de las probetas y las pruebas de resistencia a las mismas. Las pruebas de tracción y de flexión se aplicaron a las probetas que mejor desempeño en calidad tuvieron (menor porosidad de aire, mayor cúmulo de fibra vs adhesivo), todo esto, con el fin de hallar y analizar en las maquinas universales de ensayo, las gráficas de fuerza-deformación, la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión de las probetas.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, se propone los posibles usos en la industria y recomendaciones para futuros trabajos de grado, derivados del mismo.

Palabras clave: Materiales compuestos, fique, probetas.

ABSTRACT

In this document a study is carried out to develop a composite material from a polymeric matrix reinforced with fique fiber. The manufacturing processes of polymeric matrices and the treatment of natural fiber are mentioned. The process of heating the adhesive, the union with the fique fiber and hits subsequent cured is described; The process of cutting the specimens and the resistance tests to them is explained. The tensile and bending tests were applied to the specimens that had the best quality performance (less porosity, greater accumulation of fiber vs adhesive), all this, in order to find and analyze in the universal testing machines, the graphs of force-deformation, the tensile strength and the flexural strength of the specimens.

Finally, based on the results obtained, the possible uses in the industry and recommendations for future degree works, derived from it, are proposed.

Keywords: Composite materials, fique, test tubes.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

Ante los constantes cambios climáticos que vive la humanidad, la tecnología no es ajena a ello. Y los materiales que giran alrededor de la tecnología tampoco.

Muchos de estos materiales poseen características inigualables por su flexibilidad, ductilidad, impermeabilidad, resistencia a la corrosión, bajo precio, entre otros.

Es el caso de los polímeros, que ofrecen ventajas respecto a los materiales convencionales. Los polímeros pueden ser combinados con fibras naturales, con el fin de mejorar sus propiedades y convertirse en materiales estructurales capaces de ser utilizados como elementos de una estructura o bien, en el refuerzo de estructuras resistentes de materiales tradicionales.

De ésta forma llegamos al concepto popularmente conocido de materiales compuestos o composites. Estos materiales cubren un espectro de aplicaciones que va desde elementos estructurales y arquitectónicos hasta aplicaciones en construcción de depósitos, tuberías, cubiertas, entre otros. [2]

Por eso nos vemos en la necesidad de desarrollar nuevos compuestos y nuevas mezclas que nos permitan potenciar sus características mecánicas, uniéndolas con materiales vegetales propias de la naturaleza.

Se trata del “fique”. Una fibra vegetal utilizada desde épocas antiguas en las regiones Andinas de Colombia, Venezuela y Ecuador donde prevalecen condiciones tropicales durante casi todo el año. En Colombia, el Fique se cultiva en climas templados y fríos. El fique crece casi de manera espontánea y los habitantes de estas regiones lo desfibraban para la fabricación de alpargatas, redes y cuerdas para sus labores domésticas, igualmente sus subproductos eran utilizados con fines medicinales.

Desde la década de los años 50 en Colombia el estado inició a través de programas agrarios el fomento del cultivo del fique de manera más técnica. Igualmente se instalaron algunas empresas para la maquinación de la fibra.

Actualmente las regiones donde más se cultiva el fique por razones climáticas y culturales son los Departamentos del Cauca, Nariño, Santander y Antioquia.

A partir de lo anterior, el objetivo de este trabajo es fabricar un material compuesto con resina poliéster como matriz adicionando fibras de fique como refuerzo y someterlo a ensayos de tracción y flexión, con el fin de obtener y analizar las propiedades mecánicas del material.

Se pretende, además, dependiendo de los resultados obtenidos, proponer los posibles usos en la industria.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La investigación de nuevos materiales alternativos que implique una evolución en cuanto a costo y mejora en las propiedades de los elementos o máquinas que a diario utilizamos y que facilitan nuestras labores diarias, está tomando gran importancia.

Los materiales compuestos son una gran alternativa para la elaboración de éstos elementos y conocer sus propiedades es de vital importancia a la hora de elegir el compuesto.

En la mayoría de casos a los materiales compuestos se les mezcla con materiales ligeros, baja densidad y mayor resistencia como la fibra de carbono. Sin embargo, tienen varias desventajas para el medio ambiente debido a su baja descomposición y alta contaminación. Es por eso, que cambiamos ese segundo compuesto por un compuesto natural y amigable con el ambiente, que se degrada fácilmente y cuyas propiedades mecánicas pueden ser iguales.

Con ayuda de los elementos mecánicos en el laboratorio de resistencia de materiales, como los son, las máquinas universales de ensayos de tracción y flexión, nos darán unas mediciones exactas basadas en las normas técnicas y nos dirán si dichos elementos de fibra natural (fique), son aptas para reemplazar los compuestos inorgánicos que comúnmente se utilizan con los materiales compuestos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar y caracterizar un material compuesto de poliuretano reactivo como matriz, reforzado con fibra natural de fique.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las proporciones adecuadas del poliuretano reactivo y la fibra natural para este estudio.
- Elaborar las probetas de ensayo con base en las mejores proporciones del material compuesto.
- Analizar en el laboratorio las propiedades mecánicas del material compuesto teniendo en cuenta las cargas máximas de resistencias y los límites elásticos.
- Evaluar los resultados obtenidos y proponer los posibles usos en la industria.

2. MATERIALES COMPUESTOS

2.1 Definición: Un material compuesto es un material que consta de dos o más fases física y/o químicamente distintas, convenientemente dispuestas o distribuidas. Generalmente tiene características que no están representadas por ninguno de sus componentes de forma aislada. La fase continua se denomina *matriz*, mientras que la fase distribuida se denomina *refuerzo*. Tres elementos determinan las características de un compuesto: el refuerzo, la matriz y la interfaz entre ellos. [3]

En general, los materiales compuestos se pueden clasificar como reforzados con fibra (compuestos fibrosos) y compuestos reforzados con partículas (compuestos particulados).

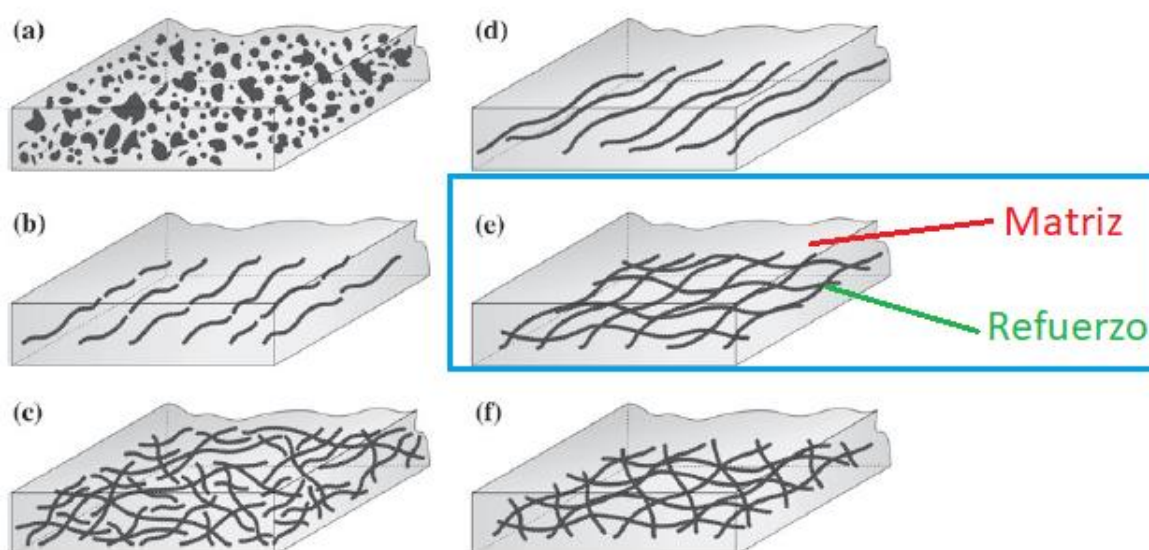


Figura 1: Clasificación y tipos de materiales compuestos: a) Reforzado con partículas dispersas, b) reforzado con fibra discontinua (alineado), c) reforzado con fibra discontinua (orientado al azar), d) reforzado con fibra continua (alineado), e) reforzado con fibra continua (alineado con un ángulo de orientación de fibra de 0–90°), y f) continuo reforzado con fibra (ángulo de orientación de fibra multidireccional). [4]

La opción e) es la que vamos a realizar en la presente investigación.

2.2 Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de matriz

Podemos clasificar los compuestos en función del tipo de matriz empleada en ellos, por ejemplo, compuestos de matriz polimérica (PMC), compuestos de matriz metálica (MMC) y compuestos de matriz cerámica (CMC).

2.3 Matriz Polimérica (PMC)

Los compuestos de matriz polimérica (PMC) se han establecido como materiales estructurales de ingeniería, no solo como curiosidades de laboratorio o materiales económicos para hacer sillas y mesas.

Esto se debió no solo a la introducción de fibras de alto rendimiento como el carbono, el boro y la aramida, sino también a algunos materiales de matriz nuevos y mejorados. Sin embargo, los polímeros reforzados con fibra de vidrio representan la clase más grande de PMC. Los PMC reforzados con fibra de carbono son quizás los compuestos estructurales más importantes; especialmente en el campo aeroespacial.

Los compuestos poliméricos reforzados con fibras continuas muestran propiedades anisotrópicas. Las propiedades de un compuesto dependerán del tipo de matriz, tipo de fibra, interfaz, cantidad o fracción de volumen de fibra (o la de la matriz), proceso de fabricación y por supuesto, la orientación de la fibra.

Las propiedades mecánicas de los polímeros continuos reforzados con fibra son bastante más altas en la dirección longitudinal que en otras direcciones y los compuestos que contienen fibras de aramida y polietileno no tendrán tales propiedades atractivas en compresión en la dirección longitudinal.

En general, los compuestos continuos reforzados con fibra serán rígidos y fuertes a lo largo del eje de la fibra, pero fuera de ángulo, estas propiedades caen bastante bruscamente. Normalmente, en un PMC unidireccional, la fracción de volumen de fibra puede ser del 65%. En compuestos que tienen fibras alineadas bidireccionalmente, este valor puede caer al 50%, mientras que en un compuesto que contiene una distribución aleatoria en el plano de fibras, la fracción de volumen rara vez será más de 30 %.

Como regla general, podemos tomar el módulo de Young del material compuesto en la dirección longitudinal será dado por la siguiente regla de relación de mezclas:

$$E_{cl} = E_f V_f + E_m V_m$$

donde:

E = Modulo de Young

V = Fracción de Volumen de un componente

Subíndices:

c = Compuesto

l = Dirección de longitud de la fibra

f = Fibra

m = Matriz

La etapa final en cualquier fabricación de PMC se llama reducción de volumen, que sirve para reducir el número de vacíos, uno de los defectos comunes en las PMC. Sin embargo, hay otros defectos estructurales comunes en PMC. A continuación, se muestra una lista de estos:

- Regiones ricas en resina (pobres en fibra).
- Vacíos (por ejemplo, en cruces itinerantes en el devanado de filamentos y entre capas que tienen diferentes orientaciones de las fibras, en general). Este es un problema muy serio; un bajo contenido de huecos es necesario para mejorar la resistencia al corte interlaminar. Por lo tanto, la importancia del paso de reducción de volumen.
- Microfisuras (pueden formarse debido a tensiones de curado o absorción de humedad durante el procesamiento).
- Regiones desunidas y de laminadas.
- Variaciones en la alineación de las fibras. [5]

2.3.1 Tipos de resina

Las resinas compuestas son materiales sintéticos mezclados heterogéneamente formando un compuesto, como su nombre indica. Estos componentes pueden ser de dos tipos: los de cohesión y los de refuerzo.

Los componentes de **cohesión** envuelven y unen los componentes de refuerzo manteniendo la rigidez y la posición de estos. Los de **refuerzos** dotan al conjunto con unas propiedades físicas que mejoran la cohesión y la rigidez. Así pues, esta combinación de materiales confiere al compuesto unas propiedades mecánicas notablemente superiores a las de las materias primas de las que procede. Existen diferentes clases de resinas entre las cuales se encuentran resinas de poliéster, vinilester y epóxica, con diferentes características en cada una de ellas. [12]

2.3.2 Resina poliéster

Las resinas de poliéster son líquidas a temperatura ambiente y pueden ser llevadas a estado sólido, en el caso de las resinas pre-aceleradas, por la adición de un catalizador; y para resinas no pre-aceleradas un acelerador y un catalizador. Las resinas se presentan en forma de plásticos termo-estables que son los que se emplean en los materiales compuestos. Entre las resinas de poliéster podemos encontrar como las más comunes: las ortoftálticas y las isoftálticas. Pre-aceleradas y no pre-aceleradas (vírgenes).

Ortoftálticas: De uso general en ambientes no agresivos.

Isoftálticas: Buen desempeño mecánico, resistente al agua y a agentes químicos.

Isoftálticas con neopentilglicol (ISO-NPG): alta resistencia química y al ambiente.

El proceso de transformación de estado líquido a sólido se llama curado, polimerización o endurecimiento y viene acompañado de una reacción exotérmica (que desprende calor). Este cambio de estado no se presenta inmediatamente se adicionan los promotores de curado (acelerador y catalizador), es una reacción que ocurre a medida que transcurre el tiempo y

Se genera de forma gradual, pasando de estado líquido a estado gelatinoso (conocido como estado o tiempo de gel) y finalmente a estado sólido.

En las resinas de poliéster el acelerante o acelerador se llama octoato de cobalto y el catalizador se llama mek (metil-etil-cetona) peróxido.

Principales factores que intervienen en el proceso de curado son:

- El tipo y referencia de resina empleada.
- La temperatura ambiente, la mayoría de las resinas no curan a temperaturas inferiores a 160C.
- La naturaleza y cantidad de catalizador y acelerador. A mayor cantidad de ambos, menos tiempo de gelificación.
- La naturaleza y cantidad de las cargas. Si estas son elevadas retrasan el curado.
- La humedad relativa. Es necesario mantener una humedad relativa entre 40 y el 54 %
- El exceso de exposición al sol.
- El incremento de la temperatura del proceso, la cual reduce el tiempo de gelificación.
- A temperatura ambiente no se debe sobrepasar los 27° C por cuestiones puramente lógicas.
- Espesor del laminado, cuyo aumento disminuye el tiempo de gelificación. [13]

2.3.3 Resina viniléster

El viniléster, éster vinílico o resina de éster vinílico, es una resina producida por la esterificación de una resina epoxi con ácidos metacrílicos o acrílicos. Los grupos "vinilos" hacen referencia a estos sustituyentes éster que son propensos a polimerizar.

Este material polimérico se puede utilizar como alternativa a los materiales poliéster y epoxi como matriz de polímero termoestable en material compuesto, donde sus características, los puntos fuertes y el coste a granel son intermedios entre poliéster y epoxi.

Características: Resistencia química y propiedades físicas superiores a las de las resinas de poliéster, así como propiedades de manipulación superiores a las de las resinas epoxi y de poliéster. Excelente resistencia a la fatiga. Buena impregnación de los refuerzos. Buena adhesión sobre las fibras de refuerzo. Resistente a la corrosión, incluso en agua caliente.

Buena resistencia al fuego. Laminados de alta resistencia al agua y a productos químicos agresivos. Curado rápido (reducción del marcado de las fibras sobre la superficie. [13]

2.3.4 Resina epóxi

Una resina epoxi es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor. Las resinas epoxi más frecuentes son producto de una reacción entre epiclorohidrina y bisfenol A. El término “epoxi” hace referencia tanto a cualquiera de los componentes como al producto final (curado) de las denominadas resinas epoxi. Las resinas epoxi se usan tanto en la construcción de moldes como de piezas maestras, laminados, extrusiones y otras ayudas a la producción industrial. Los resultados son más baratos, resistentes y rápidos de producir que los hechos de madera, metal, etc.

Los compuestos de fibras y epoxi, aunque son más caros que los de resinas de poliéster o de éster de vinilo, producen piezas más resistentes. Además, las resinas epoxi pueden ser infiltradas en espumas metálicas (metal foams) para crear los materiales compuestos denominados IPC (Interpenetrating Phase Composites).

2.4 Matriz Metálica (MMC)

Los compuestos de matriz metálica consisten en un metal o una aleación como matriz continua y un refuerzo que puede ser de partículas, fibra corta o bigotes o fibra continua.

Hay tres tipos de compuestos de matriz metálica (MMC):

- MMC reforzadas con partículas
- MMC reforzadas con fibras cortas o bigotes
- MMC continuas reforzadas con fibra o láminas

La tabla 1 proporciona ejemplos de algunos refuerzos importantes utilizados en compuestos de matriz metálica y sus relaciones de aspecto (longitud / diámetro) y diámetros. Los MMC

reforzados de partículas o discontinuamente se han vuelto muy importantes porque son económicos en comparación con los compuestos continuos reforzados con fibra y tienen propiedades relativamente isotrópicas en comparación con los compuestos reforzados con fibra.

TIPO	RELACIÓN DE ASPECTO	DIAMETRO (μm)	EJEMPLOS
Partícula	~1 – 4	1 - 25	SiC, Al ₂ O ₃ , WC, TiC, BN, B ₄ C
Fibra Corta	~10 – 1000	0.1 – 25	SiC, Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ + SiO ₂ , C
Fibra Continua	> 1000	3 - 150	SiC, Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ + SiO ₂ , C, B, W, NbTi, Nb ₃ Sn

Tabla 1: Refuerzos típicos utilizados en compuestos de matriz metálica [5]

Muchos procesos para fabricar compuestos de matriz metálica se encuentran disponibles. Estos procesos implican el procesamiento en estado líquido y sólido. Algunos procesos pueden implicar una variedad de técnicas de deposición o un proceso in situ de incorporación de una fase de refuerzo.

Compuestos de matriz metálica reforzados con fibra continua reforzados unidireccionalmente muestran un aumento lineal en el módulo de Young del material compuesto en función de la fracción de volumen de la fibra.

El aumento longitudinal en el módulo de Young está de acuerdo con el valor de la regla de las mezclas, mientras que el aumento del módulo en una dirección transversal a las fibras es muy bajo.

El refuerzo de partículas también da como resultado un aumento en el módulo del material compuesto; el aumento, sin embargo, es mucho menor que el previsto por la regla de las mezclas. Esto es comprensible en la medida en que la regla de las mezclas es válida solo para refuerzo de fibra.

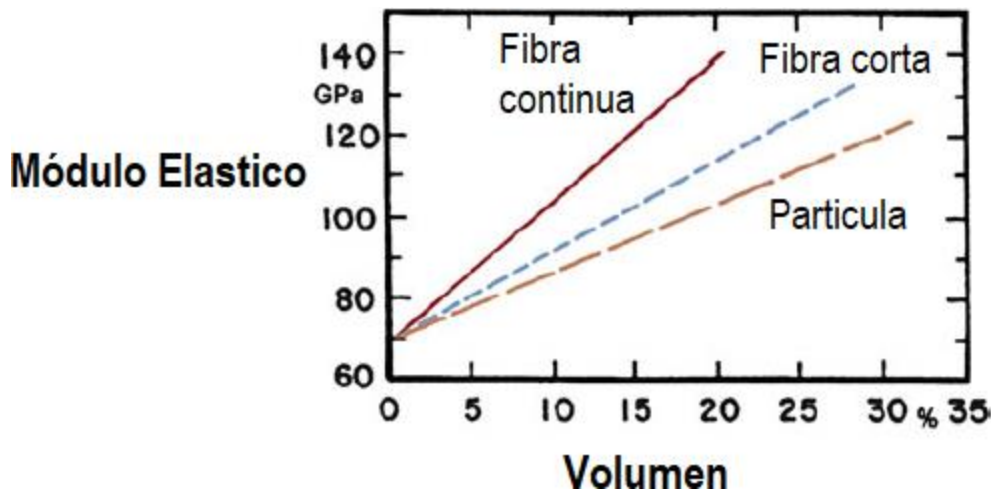


Figura 2. Aumento del módulo de Young de una MMC en función de una fracción de volumen de refuerzo para fibras continuas, fibras cortas o partículas. [5]

2.5 Matriz Cerámica (CMC)

Los materiales cerámicos en general tienen un paquete de propiedades muy atractivo: alta resistencia y alta rigidez a temperaturas muy altas, inercia química, baja densidad, etc. Esta característica se ve empañado por un defecto mortal, a saber, una total falta de ductilidad. Son propensos a fallas catastróficas en presencia de fallas (superficiales o internas). Son extremadamente susceptibles al choque térmico y se dañan fácilmente durante la fabricación y / o el servicio. Por lo tanto, es comprensible que una consideración primordial en los compuestos de matriz cerámica (CMC) sea endurecer las cerámicas incorporando fibras en ellas y así aprovechar la atractiva resistencia a altas temperaturas y la resistencia ambiental de los materiales cerámicos sin riesgo de una falla catastrófica. Vale la pena señalar desde el principio que existen ciertas diferencias básicas entre los CMC y otros compuestos.

La filosofía general en los compuestos de matriz no cerámica es que la fibra soporte una mayor proporción de la carga aplicada. Este reparto de carga depende de la relación de módulos elásticos de fibra y matriz. Otro punto distintivo con respecto a las CMC es que, debido a la ductilidad limitada de la matriz y la temperatura de fabricación generalmente alta, el desajuste térmico entre los componentes tiene una influencia muy importante en el rendimiento de la CMC. El problema de la compatibilidad química entre los componentes de las CMC tiene ramificaciones similares a las MMC. [5]

3. FIBRAS

3.1 Fibras naturales

Las fibras naturales se subdividen en función de su origen ya que proceden de plantas, animales o minerales. Las fibras vegetales se componen de celulosa, mientras que las fibras animales se componen de proteínas (cabello, seda y lana).

Las fibras vegetales son biodegradables, sostenibles y renovables, no son tóxicos ni abrasivos y tienen un impacto ambiental positivo ya que tienen un dióxido de carbono neutro. Por lo tanto, las fibras vegetales son un material de elección para la producción de biocompuestos.

Debido a su alta disponibilidad mundial su producción se hace más económica y más segura en comparación con los refuerzos sintéticos. Además, las buenas propiedades mecánicas, bajo costo por volumen, baja densidad, alta resistencia y rigidez relativas, da como resultado compuestos con resistencia y rigidez específicas comparables al de los reforzados con vidrio.

Sin embargo, antes de usar las fibras naturales en materiales compuestos, deben separarse o purificarse de otros constituyentes (lignina, hemicelulosas, ceras y proteínas) presentes en las fuentes respectivas. El principal objetivo de la utilización de fibras naturales como fase de refuerzo en materiales compuestos, es mejorar las propiedades mecánicas y la producción de materiales ligeros. [4]

FIBRA NATURAL	Densidad (g/cm³)	Diámetro (mm)	Módulo E (GPa)	Fuerza (MPa)
Cáñamo	1,47	25 - 250	38 – 70	550 - 900
Algodón	1,5 - 1,6	22 - 68	5 - 12,5	287 - 800
Yute	1,3 - 1,4	25 - 250	13 - 26,5	393 - 773
Sisal	1,45	50 - 200	9,4 – 22	468 - 700
Madera blanda	1,5	-	40	1000
Lana	1,4	0,25	4 – 6	175
Aramida	1,4	0,02 - 1	63 – 67	3000 - 3150
Seda	1,34	0,03 - 0,05	-	-
e-vidrio	2,5	15 - 25	70 – 73	2000 - 3500

Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas de las diferentes fibras naturales utilizadas en los materiales compuestos. [6]

3.2 Clasificación de las fibras vegetales

Las fibras vegetales se derivan de recursos renovables y se clasifican según su origen en fibras suaves (hojas) o fibras duras (semillas, frutos, madera, paja de cereales) y otras fibras de hierba.

Principalmente, los materiales de refuerzo verde se derivan de biomasa de origen vegetal y animal, y se clasifican según su origen, como se muestra en la Figura 3.

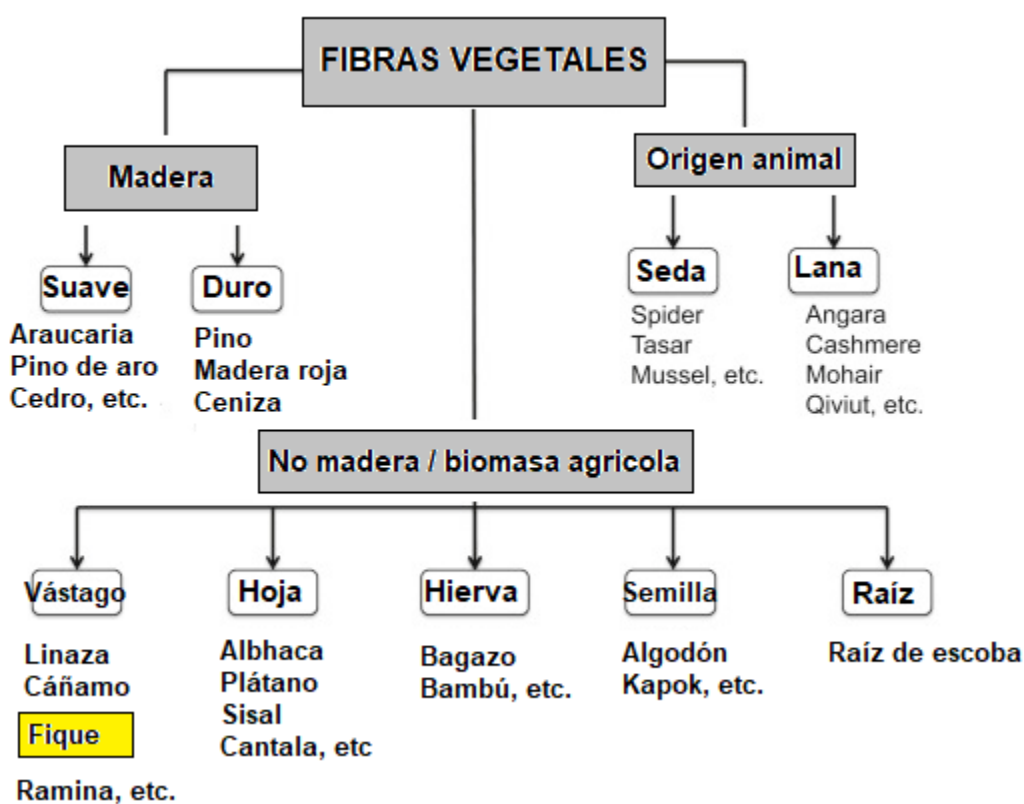


Figura 3. Clasificación de fibras naturales de origen renovable. [6]

3.3 Tratamiento de fibras de origen vegetal

Las fibras vegetales más comunes como el algodón, cáñamo y fique son las de mayor consumo en los compuestos de matriz polimérica. Estas fibras están constituidas principalmente por celulosa, lignina, pectina y hemicelulosa.

La lignina es un polímero que resulta de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos, que rindan rigidez a la pared celular, haciéndola resistente al impacto y la flexión; es hidrofóbica, resiste la hidrólisis ácida, es soluble en álcali caliente y de fácil oxidación.

La celulosa es el componente estructural más importante en la mayoría de las fibras naturales de origen vegetal, presentándose en forma de microfibrillas cristalinas alineadas a lo largo la longitud de la fibra. La hemicelulosa es hidrófila y puede ser fácilmente hidrolizada por ácidos y bases diluidas.

El contenido de celulosa, el ángulo microfibrilar y las dimensiones celulares influyen en las propiedades macroscópicas de las fibras vegetales.

La resistencia a la tracción y el módulo de Young aumentan con la longitud de la célula y con el contenido de celulosa, es decir, con el grado de polimerización de la misma.

La resistencia a la tracción del fique se reporta en el rango de 400 a 800 N/mm², propiedad asociada a su alto contenido de celulosa. El ángulo microfibrilar es el comprendido entre el eje de la fibra y las microfibrillas, cuyo diámetro está entre 10 y 30 nm, e incide significativamente en las propiedades mecánicas de las fibras de tal manera que mientras más agudo sea el ángulo mayor resistencia y rigidez presentan las fibras, y a medida que se incrementa el ángulo lo hace la ductilidad.

El contenido de celulosa, lignina, pectina y hemicelulosa en las fibras vegetales influye en sus propiedades, siendo una práctica común eliminar la lignina y la pectina para mejorar el efecto reforzante de las fibras naturales. Adicionalmente, estos compuestos poco deseables agregan una importante fracción de peso a las fibras, que por lo general es del orden del 10%, peso que se puede ver reflejado en el compuesto y que no agrega ningún valor al material.

[8]

El tratamiento que se ha estudiado para eliminar estos componentes, específicamente la lignina y la hemicelulosa es la mercerización y consiste en tratar las fibras en una solución de Hidróxido de sodio (NaOH), también conocido como soda caustica.

Fibra	Celulosa (% p/p)	Hemicelulosa (% p/p)	Lignina (%wt)	Cenizas (% p/p)	Densidad (g/cm ³)
Algodón	85 - 90	5,7	---	2	1,5 - 1,6
Cáñamo	69 -70	20 - 22	5,5 - 5,7	5,8	---
Yute	72	13	13	2,5	1,3
Lino	81	16,7 - 20,6	3	---	1,50

Tabla 3: densidad y el contenido para algodón, cáñamo, yute y lino. [7]

3.4 Características de compuestos reforzados con fibras naturales

Vienen con algunas características fundamentales que son bastante diferente de los materiales convencionales, especialmente en el caso de las fibras reforzadas. Entre estas características importantes se encuentran las siguientes:

- **Heterogeneidad:** Los materiales compuestos, por definición, son heterogéneos. Hay una gran área de interfaz y las propiedades in situ de los componentes son diferentes de los determinados de forma aislada.
- **Anisotrópicos:** Compuestos en general y compuestos reforzados con fibra en particular, son anisotrópicos. Por ejemplo, el módulo y la fuerza son funciones muy sensibles de la orientación de la fibra.
- **Fenómenos de acoplamiento:** Acoplamiento entre diferentes modos de carga como tensión-cizallamiento, no se observa en materiales isotrópicos convencionales. Estos fenómenos de acoplamiento pueden ser muy importante y hacen que diseñar con materiales compuestos sea más complejo.
- **Comportamiento de fractura:** Los materiales isotrópicos convencionales monolíticos muestran lo que es llamado *auto propagación de grietas similares*.

El modo de daño implica la propagación de una única grieta dominante; entonces uno puede medir el daño en términos de la longitud de la grieta. Un compuesto reforzado con fibra, especialmente en forma laminada, puede sufrir una variedad de daños

4. MATERIALES Y EQUIPOS

4.1 Introducción

En los siguientes capítulos se describen todos los materiales utilizados para el desarrollo del presente trabajo de investigación, cantidades y preparación de mezclas, procesos de fabricación de matrices, probetas y material compuesto y fibras de refuerzo. Además, se describen los ensayos a tracción y flexión de estos materiales cumpliendo con las normas internacionales regidos para estos tipos de ensayos.

4.2 Fibra de Fique: Es una fibra vegetal ecológica biodegradable muy resistente que se usa en múltiples actividades, desde la fabricación de alfombras, tejidos para la casa y la tapicería, hasta en la industria de empaques para alimentos como el café, papa, entre otros. En la figura 4a) se muestra la planta de donde es extraída, y en la 4b) la obtención del producto final de la fibra de Fique.



Figura 4: Fique (*Furcraea Macrophylla*). **a)** Planta. **b)** Fibra [autor]

A continuación, se muestra la tabla número 4 donde podemos observar las características principales de la fibra de fique:

Característica	Fique	Media
Diámetro equivalente (mm)	0,160 - 0,420	0,24
Densidad aparente (g/cm ³)	0,72	----
Densidad específica (g/cm ³)	1,74	----
Absorción de agua (%)	60	
Resistencia máxima a la tensión (MPa)	43 - 571	132,4
Elongación última (%)	9,8	
Módulo de elasticidad	8,200 - 9,100	

Tabla 4: Características de la fibra de fique [8]

4.3 Adhesivo termofusible Hot Melt: Es un adhesivo industrial de laminación para la fabricación de partes interiores de vehículos, de alta resistencia inicial para tensiones que se originan en las aplicaciones de plegado de bordes y plegado de cantos de alta tensión. También posee excelente resistencia al calor y muy buena resistencia a las bajas temperaturas.



Figura 5: Adhesivo Hot Melt. [autor]

A continuación, las especificaciones técnicas del adhesivo utilizado para realizar la matriz:

Jowatherm-Reaktant® 642.00/08	
Adhesivo laminado para fabricación de interiores en partes de vehículos	
Base de Polímero	Poliuretano
Viscosidad a 140 °C	23000 mPa
Temperatura de procesamiento, rodillo	110 - 130 °C
Temperatura de procesamiento, pulverizado	130 - 150 °C
Temperatura de activación	> 70 °C

Tabla 5: Especificación técnica del adhesivo Hot Melt. [9]

4.4 Balanza electrónica: Este instrumento de peso fue empleado para determinar la cantidad de gramos del hidróxido de sodio utilizado para el tratamiento alcalino de la fibra natural fique. Ésta balanza es de marca Electronic Kitchen SF-400 con una capacidad máxima de 10.000 g y una resolución de 0.1g.



Figura 6: Balanza electrónica marca Kitchen [autor]

4.5 Hidróxido de sodio NaOH: También conocido como soda caustica, es un hidróxido caustico usado para fabricar jabones, papel, tejidos y detergentes. Se utilizó en forma de escamas como tratamiento químico en la fibra natural fique, para eliminar la lignina y la hemicelulosa.



Figura 7: Hidróxido de Sodio [autor]

4.6 Horno: El horno empleado para diluir el bloque de adhesivo hot melt fue facilitado por el laboratorio de ensayos no destructivos de la facultad de ingeniería mecánica. Éste equipo de marca Heratherm, modelo OGH60S con exterior revestido, convección por gravedad y capacidad de 61 litros, tiene una potencia de 170W con un voltaje nominal de 120 V; un rango de temperatura entre 50 – 330 °C. En la figura 8 se muestra.



Figura 8: Horno eléctrico advanced protocol ovens de la Facultad de Ingeniería Mecánica. [autor]

4.7 Molde para matriz: El molde es la cavidad que da forma a una sustancia líquida que contiene cuando ésta se solidifica. En éste caso se utilizaron dos tipos de moldes fabricados en el laboratorio de ensayos no destructivos para éste tipo de trabajos de investigación.

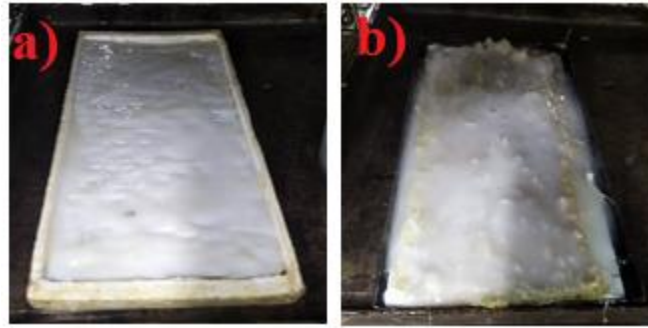


Figura 9: **a)** molde de Polietileno **b)** molde metálico. [autor]

4.8 Sierra sin fin: Es una máquina de corte que permite realizar distintos tipos de incisiones que se utilizan en aglomerados, madera y otros materiales. Es el aparato óptimo para seccionar la matriz y fue utilizada para mecanizar y obtener las probetas con sus respectivas medidas. Está ubicada en una fábrica de maderas de la calle 7 # 35-43 de la ciudad de Pereira. En la figura 10 se muestra la máquina.



Figura 10: Sierra sin fin. [autor]

4.9 Maquina universal de ensayos (Tracción): Se utilizó para registrar los cambios de longitud de las probetas debido a las fuerzas externas de tracción aplicadas y fue proporcionada por la Universidad Tecnológica de Pereira, en donde se realiza continuamente mediciones para ámbitos académicos y profesionales.

Este equipo cuenta con una máquina de ensayo y un panel de control. La capacidad de celda de carga instalada es de 100 kN y una potencia máxima de 1000 VA. La aplicación de carga se trasmite por medio de un sistema hidráulico con un dinamómetro de carátula para la medición de carga y un tablero de control manual para el ingreso y salida de datos.

En el capítulo 6 describiremos con más detalles dicha máquina.

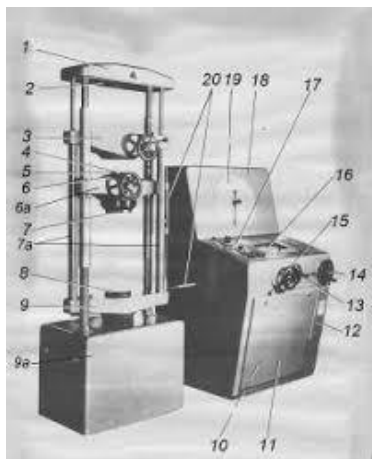


Figura 11: Maquina Universal de ensayos WPM 40-LC412-75K-DUAL [autor]

4.10 Maquina universal de ensayos (Flexión):

Se utilizó para registrar las fuerzas máximas de corte o esfuerzo último de las fibras de las probetas debido a las fuerzas externas de flexión aplicadas y fue proporcionada por la universidad Tecnológica de Pereira, en donde se realiza continuamente mediciones para ámbitos académicos y profesionales.

Este equipo cuenta con una fuerza máxima de 600 KN, una potencia de 3KW, con una repetibilidad de la célula de carga mejor o igual que $\pm 0.05\%$.

Su cabezal estándar es ajustable de 0 a 1000 mm y su campo de medida va del 1% al 100% de la capacidad nominal de la célula de carga (autoescala).



Figura 12: Máquina Universal de ensayos UMIB-600S [autor]

4.11 Resina 856: De la familia de Polímeros en solución, es una resina poliéster no saturada en estireno, rígida, de media reactividad y viscosidad, en solución de estireno. Es apropiada para trabajar por laminación manual o moldeo a máquina (spray up), y para sistemas cargados. Los laminados obtenidos tienen buena resistencia mecánica.

Se adquiere el producto en un establecimiento en Pereira, llamado: Químicos Pereira. Se utilizó para elaborar la segunda matriz y sacar de allí las segundas probetas y compararlas con las probetas iniciales.



Figura 13: Resina poliéster Cristalan 856 [autor]

PROPIEDAD	UNIDAD	ESPECIFICACIONES	ANÁLISIS
GEL TIME	MINUTOS	8-10	8,15
VISCOSIDAD	CP	500-650	530
ACIDEZ	Mg/ gr KOH	15-30	16
SOLIDOS	%	59-63	60
TIXOTROPÍA	INDICE	0-0	0

Tabla 6: Propiedades químicas de la Resina Poliéster. [11]

4.12 Catalizador: El Catalizador de resinas de Poliéster o Peróxido de Mek es el elemento que, añadido a la resina de poliéster, provocará la reacción química y, por tanto, su gelificación y endurecimiento final. El nombre del producto utilizado es Luperox® DDM-9, 2-Butanone peroxide solutivo de la marca *Aldrich* y se adquirió en un establecimiento en la ciudad de Pereira, llamado: Químicos Pereira.

La proporción utilizada es que, por cada 100 ml de resina, se necesita 0,5 ml de catalizador.



Figura 14: Catalizador Luperox® DDM-9 [autor]

5. PREPARACIÓN DE LA FIBRA DE FIQUE

5.1 Preparación manual de la fibra

El saco de fique, se obtuvo en un mercado popular en el centro de la ciudad de Pereira, donde se vende comercialmente con la medida de 1.20 cm de ancho por 1 metro de largo, o la medida que necesite el cliente. (ver figura 15).



Figura 15: Saco de fique en su forma de fábrica. [autor]

Para nuestro caso, se cortó un rectángulo de 20 cm de ancho y 37 de largo, para que, manualmente uniendo unas fibras con otras, lleguemos a la medida de 13 cm (ancho de la matriz), por 22 cm (largo de la matriz). Ver figura 16.



Figura 16: Cuadro completo de fibra de fique. [autor]

El proceso de unión de las fibras se hizo en uno de los laboratorios de metalografía aprovechando los mesones largos que posee. Allí con la ayuda de un depilador, se iba separando fibra por fibra y uniéndola unas con otras, como se muestra en la figura 17.

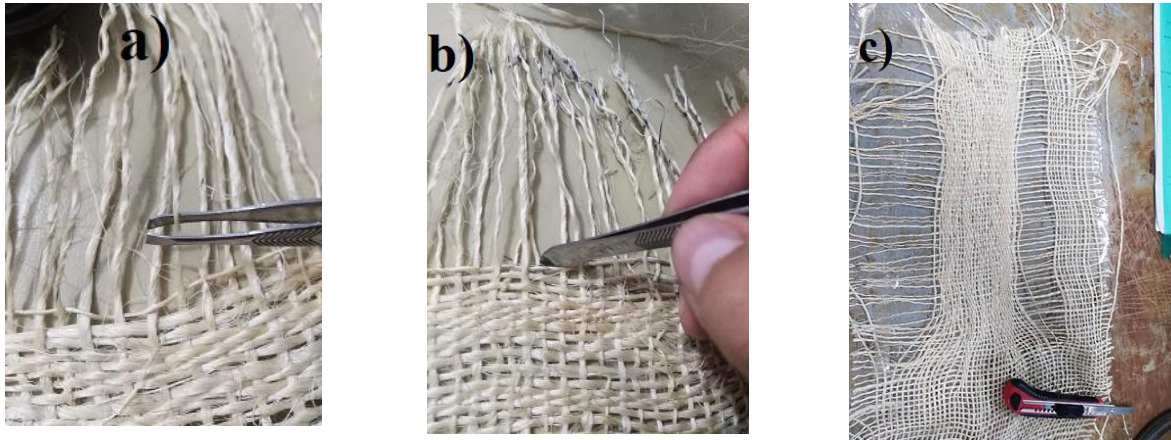


Figura 17: **a)** Objeto utilizado para separación de fibras, **b)** unión de fibras entre si, **c)** mesón amplio utilizado de la facultad para un correcto esparcimiento de la fibra. [autor]

Finalmente obtuvimos cuatro muestras de las cuales escogimos las dos mejores para hacer los ensayos, (la primera y la segunda en la figura 18)



Figura 18: Muestras de fique hechas manualmente. [autor]

5.2 Tratamiento químico de la fibra

El tratamiento empleado para eliminar componentes indeseados y mencionados anteriormente (lignina y hemicelulosa) consiste en tratar las fibras de fique en una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH), también conocido como soda caustica. Este tratamiento alcalino se realizó en una concentración al 4% y las fibras estuvieron sumergidas en la solución en un tiempo aproximado de 12 horas.



Figura 19: Fibras sumergidas en hidróxido de sodio. [autor]

5.3 Secado de la fibra

Una vez pasado las 12 horas de sumergida la fibra, se procede a lavarlas con abundante agua buscando eliminar por completo el NaOH remanente.

La cantidad de agua necesaria para el lavado de la fibra no está estimada, pues éste lavado se detiene, cuando la pegajosidad de la fibra ya no está presente y para ello, se debe ir palpando manualmente la fibra.

Finalmente se deja secar las fibras a temperatura ambiente, bajo la sombra y por un lapso de 24 horas.

En la figura 20, observamos la fibra húmeda (a), ya sin la presencia del hidróxido y después la fibra ya seca (b).

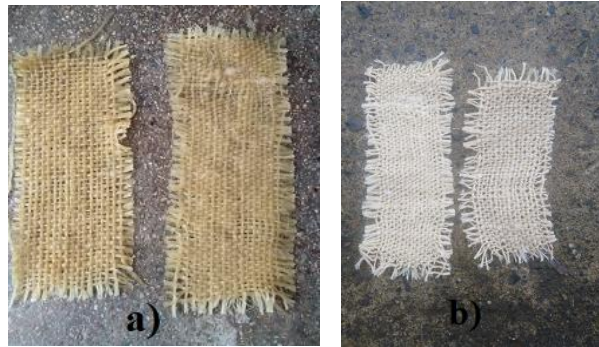


Figura 20: **a)** Fibra húmeda, **b)** Fibra seca. [autor]

6. CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ

Al momento de fabricar materiales compuestos de matriz polimérica, la selección de la matriz cumple un papel de vital importancia. Esta fase del compuesto tiene la función de tomar la forma final y además es la que transmite la energía a la fase de refuerzo. La selección de ésta tiene una serie de variables a tener en cuenta que pueden ser decisivas para que el material compuesto tenga el comportamiento esperado. Los materiales compuestos, a diferencia de otros materiales de aplicación común como los aceros o los polímeros, no tienen unas propiedades definitivas hasta que se fabrican. Por esta razón, es que se dice que los materiales compuestos se diseñan al mismo tiempo que se fabrican y la orientación de la fibra, el espesor, el porcentaje de saturación, entre otros, pueden marcar una amplia diferencia. Las matrices de mayor uso comercial son las resinas de poliéster insaturado, debido principalmente a su menor costo [10].

6.1 Preparación del molde

Para la matriz número 1, se utilizó un molde siliconado con medidas de: 13 cm de ancho, 22 cm de largo y 1 cm de altura, como se muestra en la figura 21.

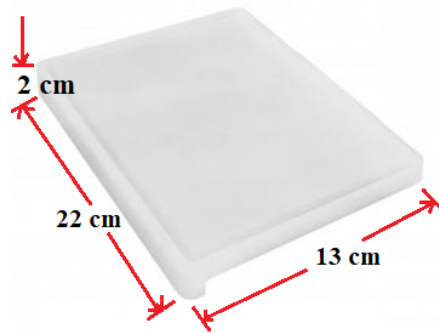


Figura 21: Molde siliconado. [autor]

Se forró la tapa inferior y la tapa superior en cinta teflón (las cuales están hechas del mismo material que el molde). Allí debemos de tener especial cuidado para que todas las superficies de las tapas queden con bastante teflón, de ello depende que el adhesivo no se funda con cualquiera de ellas. Ver figura 22.

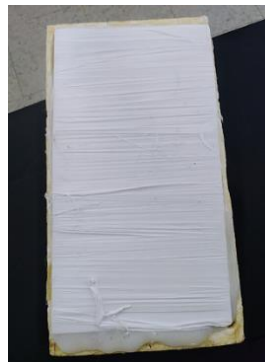


Figura 22: Tapa superior forrada con teflón. [autor]

Para ésta matriz, se utilizó el material de refuerzo fique y el adhesivo hot melt, como vemos en la figura 23:



Figura 23: Matriz de teflón con refuerzo y adhesivo. [autor]

Para la matriz número dos, se utilizó una matriz metálica con las mismas medidas que la anterior: 13 cm de ancho, 22 cm de largo y 1 cm de altura, como se muestra en la figura 24.



Figura 24: Molde metálico. [autor]

Se forró internamente con una película plástica llamada vinipel para que cuando se secara, no se pegara a la superficie de la matriz. Ver figura 25.



Figura 25: Matriz metálica con película vinipel. [autor]

En ésta matriz, se utilizó el mismo refuerzo de fibra de fique, pero con Resina + Catalizador, como vemos en la figura 26.



Figura 26: Matriz metálica con Resina + Catalizador. [autor]

7. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

Las probetas fueron fabricadas mediante la técnica de moldeo manual. Los dos grupos de probetas fueron reforzados con fibra natural de fique, pero el primer grupo se fabricó con adhesivo Hot melt, mientras que el segundo grupo se hizo con glicerina + catalizador.

Ambos tejidos de fibra se trataron químicamente mediante alcalinización con hidróxido de Sodio NaOH al 4% por 12 horas. La caracterización se realizó mediante ensayos de tracción y flexión.

7.1 Primer grupo de probetas

Se obtuvieron 5 probetas de Hot Melt, las cuales, tres se emplearon para el ensayo a tracción y dos para el ensayo a flexión.

Las medidas de las probetas son: 200 mm x 20 mm (tracción), y 100 mm x 13 mm (flexión).

Una vez sacadas la matriz Hot Melt del molde, se procedió a delimitar su espacio de corte, el cual está integrada por la zona que contenga el refuerzo de fique, como se muestra en la figura 27 a). En consecuencia, el espacio delimitado por las franjas rojas, al no tener refuerzo de fique, no se tuvo en cuenta para las probetas, como se muestra en la figura 27 b).

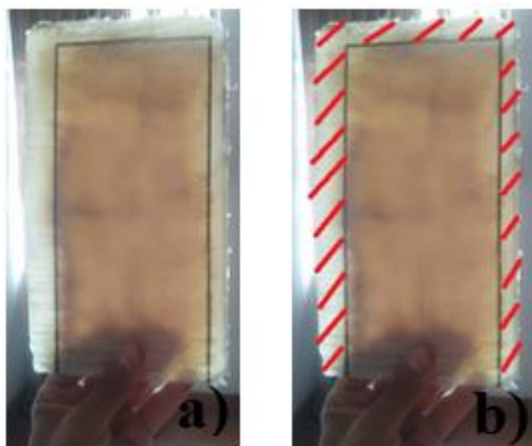


Figura 27: **a)** Franja apta para las probetas, **b)** Zona no tomada en cuenta para las probetas.

[autor]

7.2 Marcado y corte de probetas

Después de tener limitado el espacio apto para las probetas en la matriz, se procedió a marcarla con las medidas anteriormente descritas. Ver figura 28.



Figura 28: Marcación de las probetas Hot Melt. [autor]

Una vez marcada la matriz, se procedió a realizar los cortes en la sierra sin fin utilizando las guías de la máquina para asegurar un corte fino y parejo, como se muestra en la figura 29:



Figura 29: Probetas de adhesivo Hot Melt. [autor]

7.3 Segundo grupo de probetas

Se obtuvieron 6 probetas de Resina + Catalizador, las cuales dos se emplearon para el ensayo a tracción y cuatro probetas para el ensayo a flexión.

Las medidas de las probetas son: 200 mm x 20 mm (tracción), y 100 mm x 13 mm (flexión).

Una vez sacada la matriz Resina + Catalizador del molde, se procedió a delimitar su espacio de corte como se muestra en las figuras 30 a y 30 b:

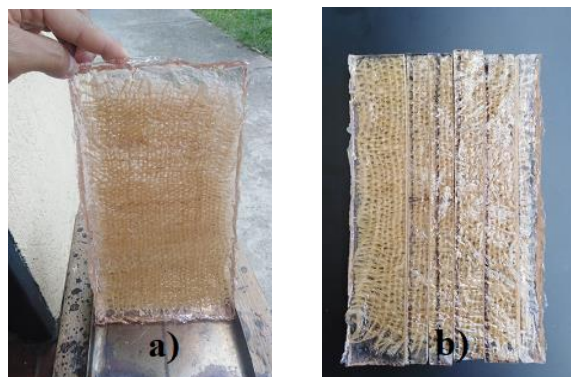


Figura 30: **a)** Matriz Resina + Catalizador, **b)** Matriz delimitada para corte. [autor]

Ya delimitado el espacio de corte de la matriz, se procedió a cortarlas en la sierra sin fin utilizando las guías de la máquina para asegurar un corte fino y parejo, como se muestra en la figura 31a y 31b:

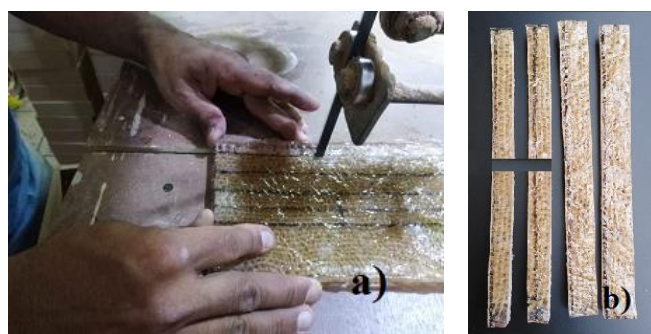


Figura 31: **a)** Corte de las probetas, **b)** Probetas de Resina + Catalizador. [autor]

8. ENSAYO DE ESFUERZOS

8.1 Prueba de tracción

Para realizar las pruebas de tracción se utilizó la máquina Universal de Ensayos WPM 40-LC412-75K-DUAL ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica. Antes de realizar las pruebas, fue necesario medir el ancho y largo de las probetas para ser ingresados en el software del programa de la máquina.



Figura 32: Máquina Universal de ensayos WPM 40-LC412-75K-DUAL empleada para obtener las medidas de tracción. [autor]

Las probetas, con una sección transversal rectangular constante, se sometieron a cargas de tensión. La fuerza axial se registró mediante la misma máquina de ensayo universal. El esfuerzo último del material se determinó desde la máxima fuerza alcanzada antes de fallar y se siguió el procedimiento y todas las recomendaciones, acorde a la norma estándar ASTM D3039 para este tipo de ensayos.

8.2 Prueba de flexión

Para realizar las pruebas de flexión, se utilizó la maquina Universal de Ensayos UMIB 600-S, ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica.

En la figura 33 se aprecia que se utilizó una célula de carga tipo S, de tipo universal de 500N y su conector de memoria, además de un juego de mordazas en cuña para la ubicación de las probetas.



Figura 33: Montaje y ejecución de la prueba de flexión. [autor]

9. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Luego de realizar las pruebas de tracción y flexión, las probetas experimentaron diferentes tipos de rotura, teniendo repercusión directa en los resultados, el tipo de disposición de las fibras, entre otros aspectos, que para efectos prácticos no serán parte de estudio, pero si es importante mostrar el resultado del aspecto final de las probetas para efectos de discusión en el análisis y recomendaciones que posteriormente se llevara a cabo en este documento.

Cabe aclarar que se hicieron varias mediciones y ensayos con diferentes probetas, y la que cumpliera con todas las recomendaciones de las normas técnicas, se escogía para ser los ensayos de tracción y flexión:

9.1 PRUEBAS A TRACCIÓN

Una vez cortadas las probetas, se proceden a medirlas para que cumplan con la norma ASTM D-3039 para las probetas a tensión.

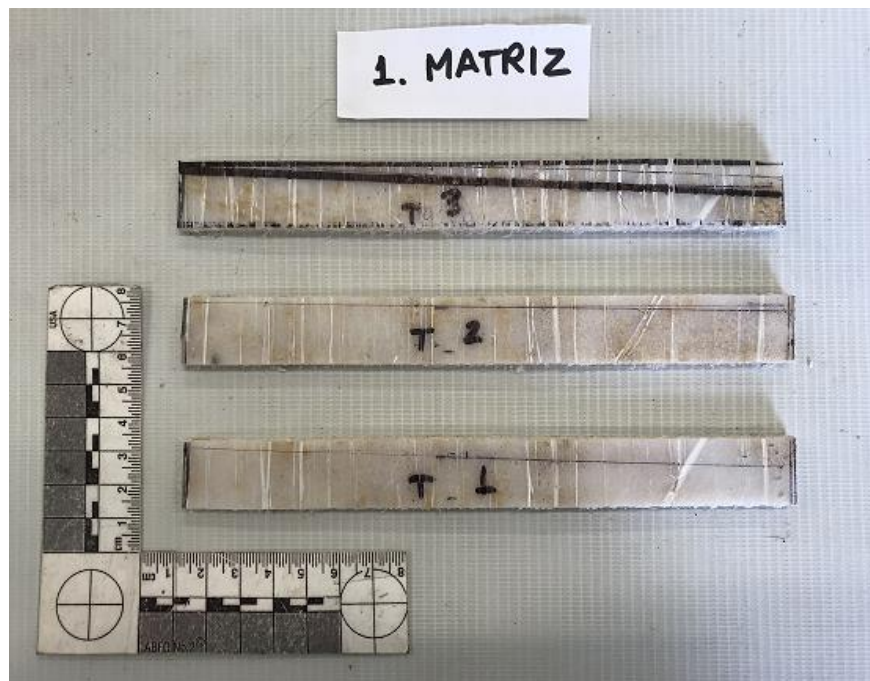


Figura 34: Medición de la probeta # 1 a tracción. [autor]



Figura 35: Medición de la probeta # 2 a tracción. [autor]



Figura 36: Probetas fracturadas después de la prueba a tracción, matriz # 1. [autor]



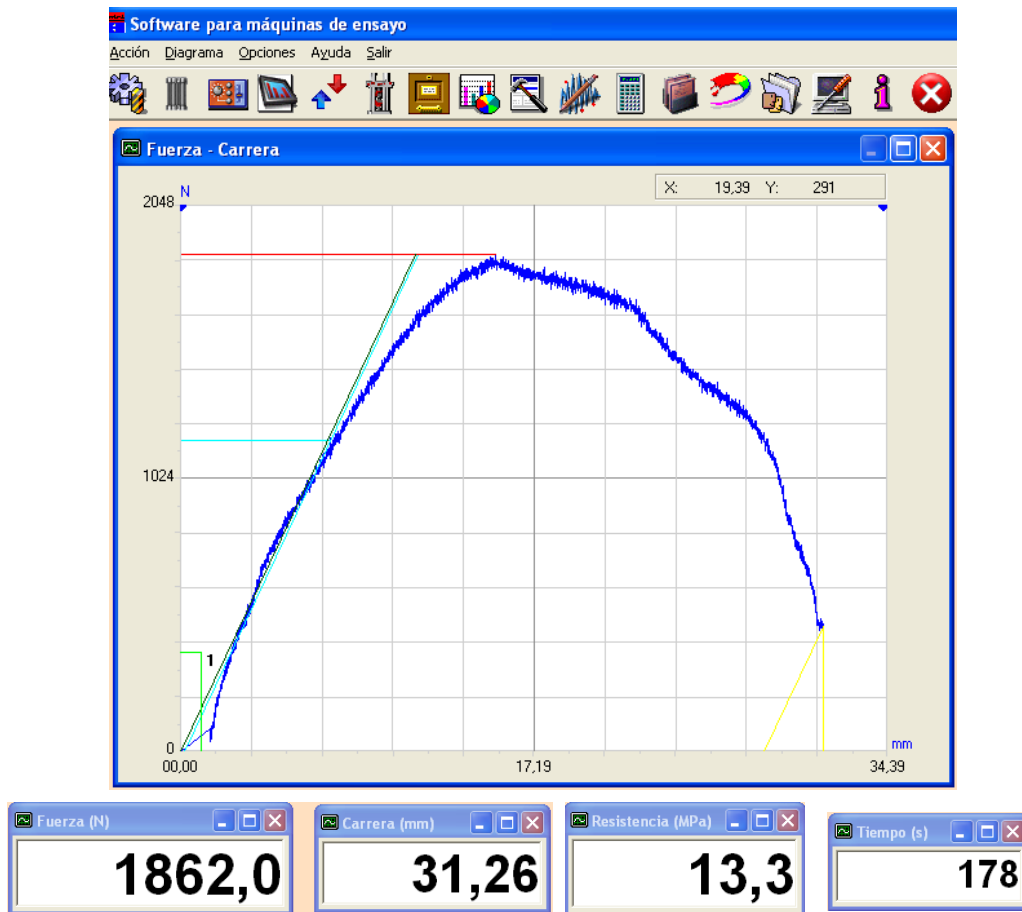
Figura 37: Probetas fracturadas después de la prueba a tracción, matriz # 2. [autor]

9.1.1 Curvas esfuerzo vs deformación

Este tipo de graficas permite distinguir el comportamiento de los materiales compuestos en cuanto a la deformación causada a medida que se aumenta la carga en este caso los esfuerzos aplicados.

Con ayudada del software de la maquina universal descrita en la figura 11, logramos las siguientes gráficas:

GRÁFICA FUERZA VS CARRERA (MM)

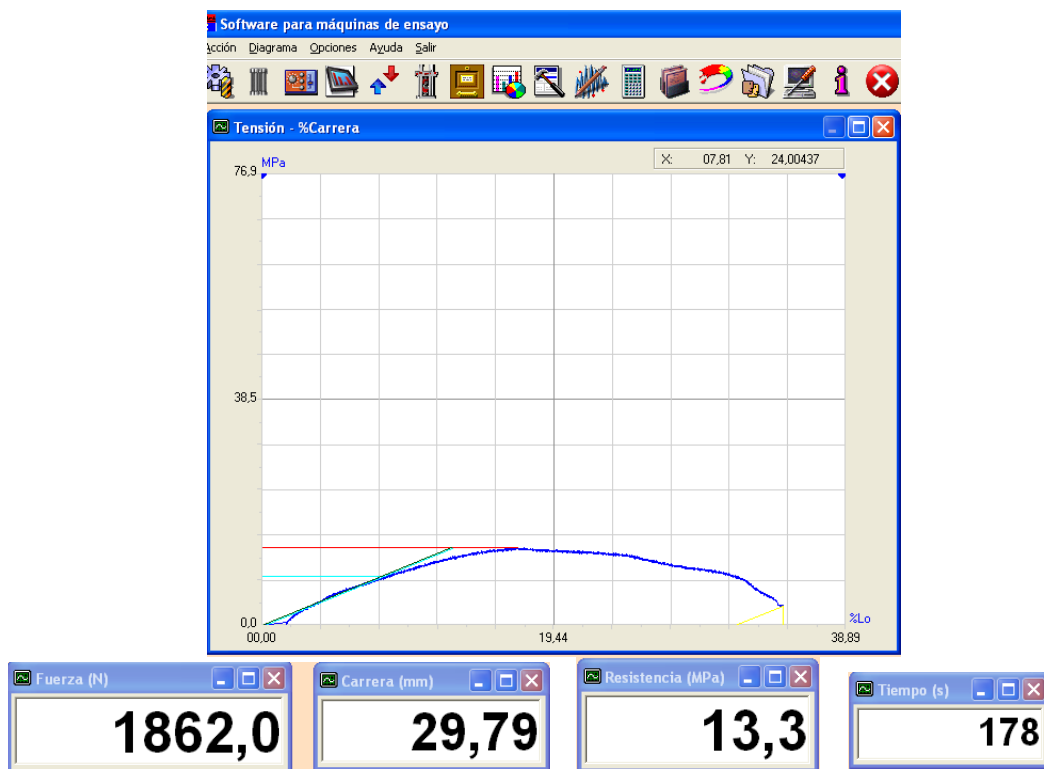


Gráfica 1: Fuerza vs Deformación medida en mm, a tracción. [autor]

Resultados			
Campo	Valor	Unidad	Color
Referencia	JLud02Matriz2T1		
Fecha de ensayo	30/07/2020		
Temperatura	23,3		
Norma			
Velocidad	10	mm/min	
Área	140,4	mm ²	
Long. base carrera	90	mm	
Carga máxima (Fm)	1862,0	N	
Resistencia tracción (Rm)	13,3	MPa	
Límite elástico al (Tracción)	0,2	%	
Límite convencional (Rp)	8,3	MPa	
Alarg. Total rotura (At)	34,734	%	
Alarg. Remanente rotura	28,388	mm	
Alargamiento rotura (A)	31,542	%	

Tabla 7: Resultados de gráfica Fuerza vs Deformación en mm. [autor]

GRÁFICA FUERZA VS CARRERA (%)



Gráfica 2: Fuerza vs Deformación medida en %, a tracción. [autor]

Resultados			
Campo	Valor	Unidad	Color
Referencia	JLud02Matriz2T1		
Fecha de ensayo	30/07/2020		
Temperatura	23,3		
Norma			
Velocidad	10	mm/min	
Área	140,4	mm ²	
Long. base carrera	90	mm	
Carga máxima (Fm)	1862,0	N	
Resistencia tracción (Rm)	13,3	MPa	
Límite elástico al (Tracción)	0,2	%	
Límite convencional (Rp)	8,3	MPa	
Alarg. Total rotura (At)	34,734	%	
Alarg. Remanente rotura	28,388	mm	
Alargamiento rotura (A)	31,542	%	

Tabla 8: Resultados de gráfica Fuerza vs Deformación en %. [autor]

9.1.2 Análisis del esfuerzo último a tracción

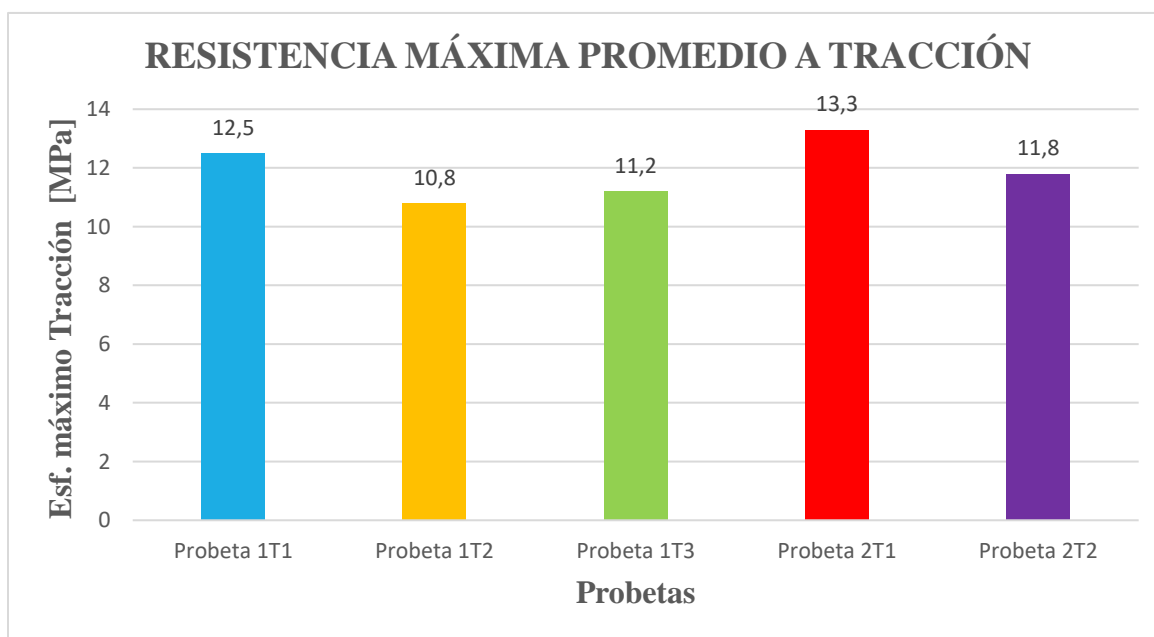
En la gráfica 1, nos indica la fuerza ejercida por la maquina vs la deformación en milímetros que se efectuó en la probeta.

La gráfica 2, nos indica lo mismo, sin embargo, la desviación es medida en porcentaje con respecto a la longitud de la probeta.

Los comportamientos en general de las dos gráficas muestran en su forma, una zona elástica pronunciada hasta alcanzar el esfuerzo máximo y posterior a esto se produce la rotura.

Este es el comportamiento típico de los materiales compuestos en pruebas a tracción, debido a que los materiales compuestos en su mayoría no poseen una zona plástica como los metales.

Se hace necesario, mirar la tabla # 7 y # 8, ya que en ella se evidencia resultados importantes como son: velocidad de la medición, el área de la probeta, la carga máxima, la resistencia a la tracción, el límite elástico en porcentaje y el alargamiento total de rotura.



Gráfica 3: Diagrama de barras de la resistencia máxima a tracción de las probetas. [autor]

En el diagrama de barras de la gráfica 3, se observa que la probeta que mejor desempeño obtuvo en las pruebas de tracción realizadas en la máquina del laboratorio de resistencia de materiales fue la designada con el código 2T1.

Al aplicársele una carga máxima de 1862 Newton, la probeta presentó una resistencia a la tracción de 13,3 MPa.

El tiempo que transcurrió hasta lograr el limite elástico fue de 178 segundos y una carrera de 0.3126 mm. Es por eso que obtuvo el menor porcentaje de alargamiento de rotura con respecto a las demás probetas, con un 31,52%.

9.2 PRUEBA A FLEXIÓN

Nuevamente, una vez cortadas las probetas, se proceden a medirlas para que cumplan con la norma ASTM D 790-10 para las probetas a flexión.

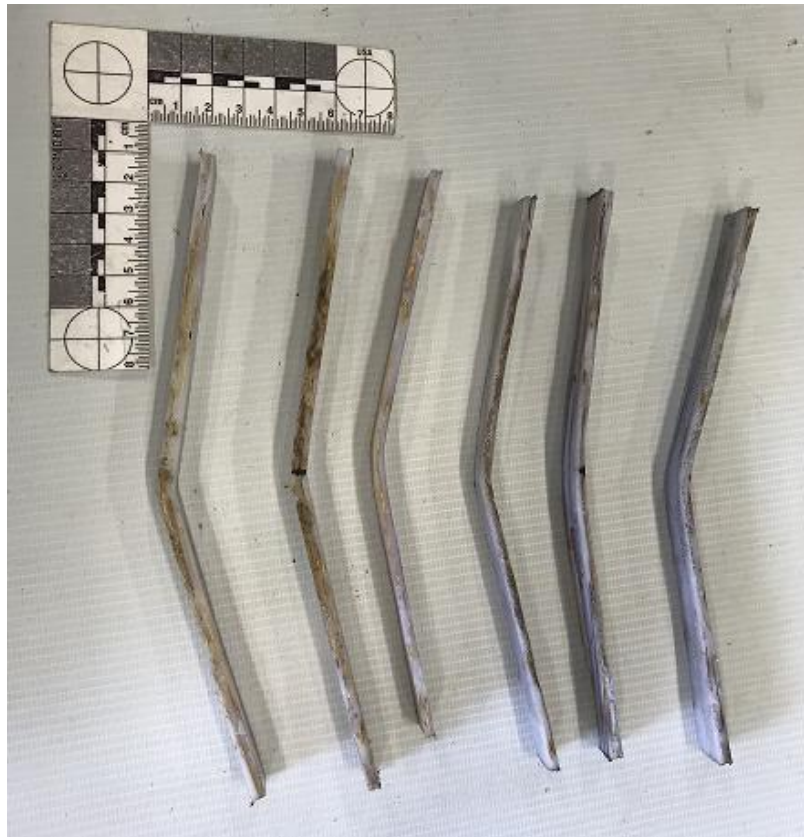


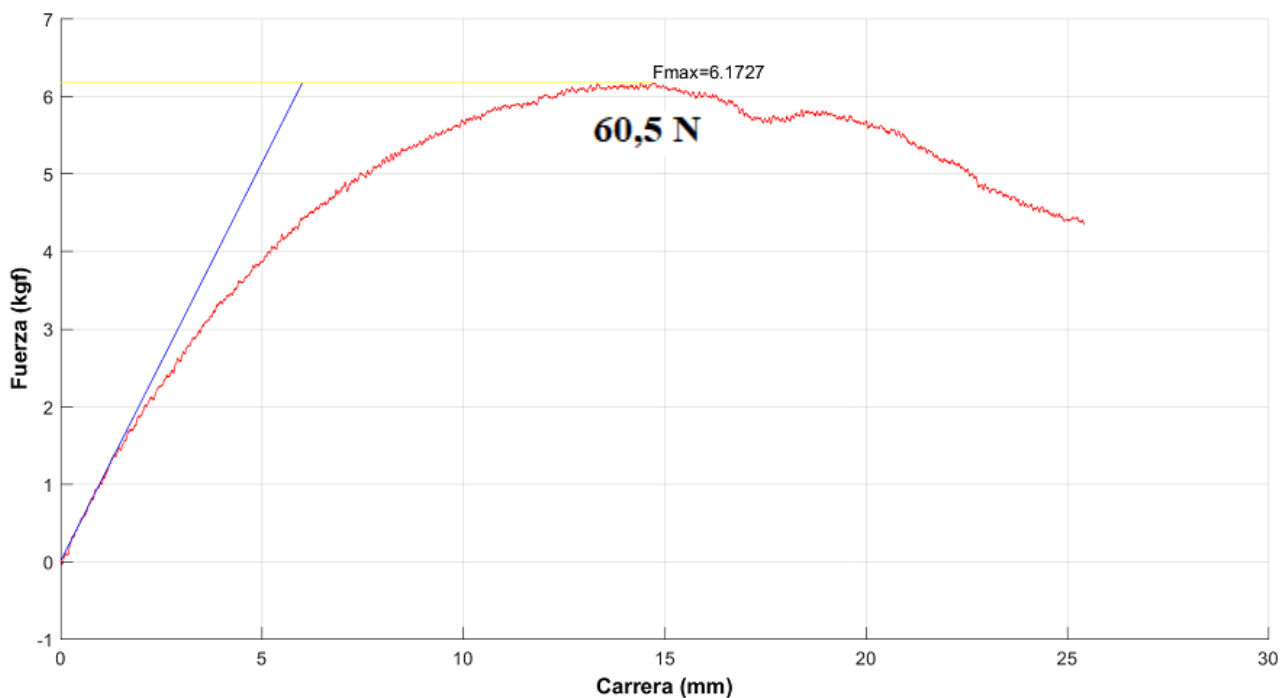
Figura 38: Medición de la probeta a flexión. [autor]

9.2.1 Curvas esfuerzo vs deformación

Con la ayuda del software WINTEST 32, de la maquina universal de ensayos UMIB 600-S, descrita en la figura 12, logramos las siguientes gráficas:

Se aclara que se escogieron dos gráficas, por tener una similitud de fuerzas máxima, sin embargo, en el apartado de análisis y resultados se explica cuál es la que obtiene mayor resistencia a la flexión.

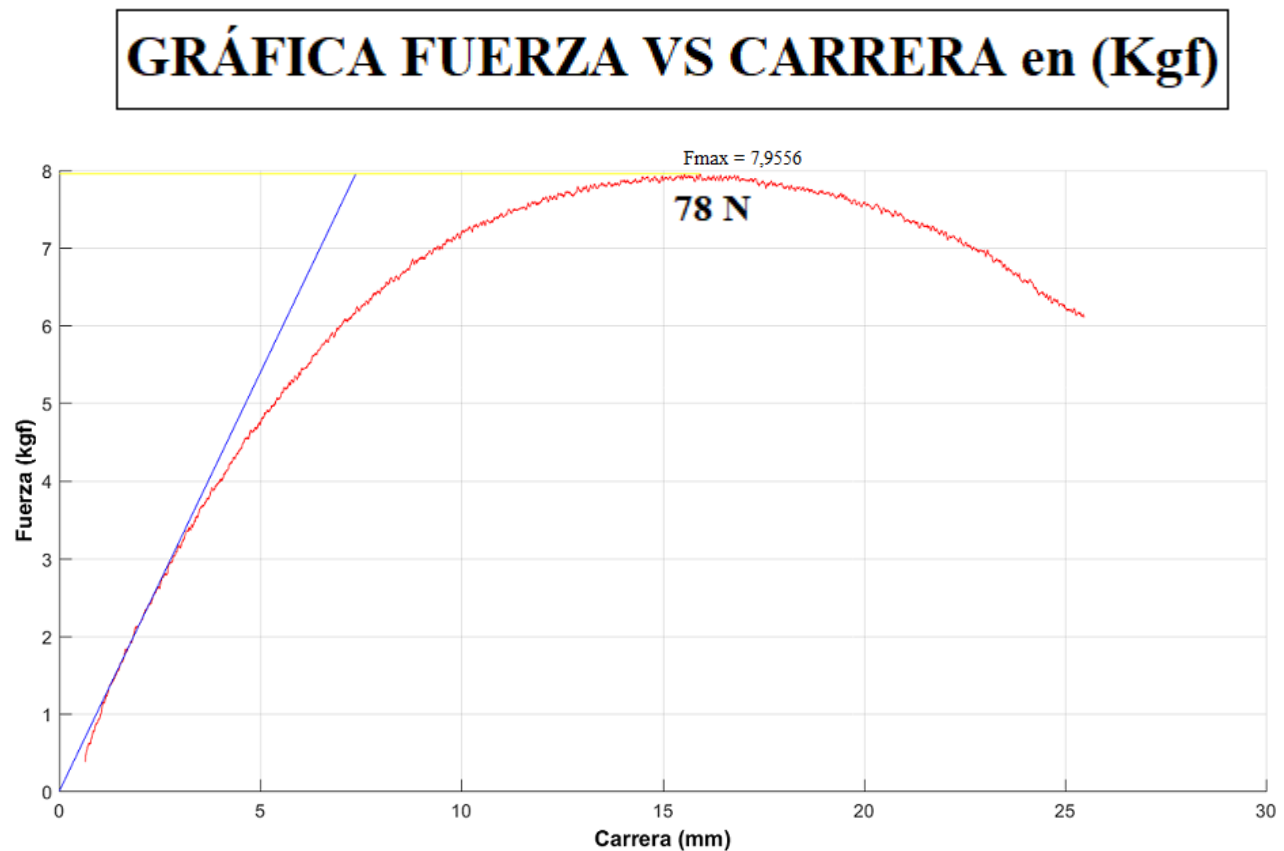
GRÁFICA FUERZA VS CARRERA en (Kgf)



Gráfica 4: Fuerza vs Deformación medida en mm, a flexión # 1. [autor]

Referencia	Flex Matriz 201	Unidades
Rango de la celda de carga (FS)	226,8	kgf
Sensibilidad	3,296	mV/V
Área de la sección transversal	0	cm ²
Longitud base de deformación	0	mm
Fuerza máxima	6,172738828	kgf
Esfuerzo convencional de fluencia 0,2%	0	kgf/cm ²
Esfuerzo de rotura	0	kgf/cm ²

Tabla 9: Resultados de la gráfica # 1, Esfuerzo vs Deformación a flexión. [autor]



Gráfica 5: Fuerza vs Deformación medida en mm, a flexión # 2. [autor]

Referencia	Flex Matriz 202	Unidades
Rango de la celda de carga (FS)	226,8	kgf
Sensibilidad	3,296	mV/V
Área de la sección transversal	0	cm ²
Longitud base de deformación	0	mm
Fuerza máxima	7,955682717	kgf
Esfuerzo convencional de fluencia 0,2%	0	kgf/cm ²
Esfuerzo de rotura	0	kgf/cm ²

Tabla 10: Resultados de la gráfica # 2, Esfuerzo vs Deformación a flexión. [autor]

9.2.2 Análisis del esfuerzo máximo a flexión

Como la carga máxima arrojada por la máquina UMIB 600S nos la proporciona en unidades de Kgf, la convertimos en unidades de MPa para tener consistencia en unidades, con respecto a los datos arrojados en la máquina universal de ensayos a tracción. A continuación, se muestra la conversión:

Como $1 \text{ Kgf} = 9,81 \text{ N}$

1era gráfica:

Entonces: $6,1727 \times 9,81 \text{ N} = 60,5 \text{ N}$

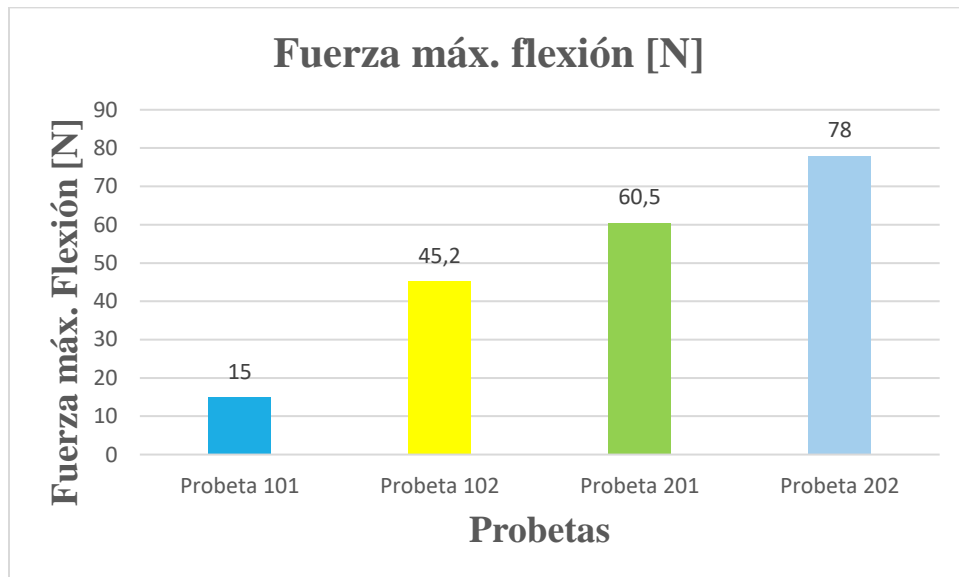
2da gráfica:

$7,9556 \times 9,81 \text{ N} = 78 \text{ N}$

La probeta que mejor desempeño obtuvo en las pruebas de flexión echas en la máquina del laboratorio de resistencia de materiales fue la designada con el código 202.

La probeta resistió la fuerza máxima de carga de 7,9556 Kgf llegando al esfuerzo último y recorrió una carrera de 15,94 mm antes de fracturarse.

En la gráfica 5, observamos los valores de la fuerza máxima a flexión de cada una de las probetas.



Gráfica 5: Diagrama de barras de la fuerza máxima a flexión de las probetas. [autor]

10. CONCLUSIONES

1. Las fibras vegetales pueden ser utilizadas como fase de refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica en aplicaciones donde no se requieran altas características mecánicas (valores de módulo de elasticidad inferiores a 2.500MPa).
2. Las fibras tratadas con hidróxido de sodio (NaOH), mejoraron las propiedades mecánicas de las fibras al remover componentes indeseados como la lignina y la hemicelulosa. Esto demuestra aún más, que las fibras vegetales sí están actuando como refuerzo dentro del material compuesto al comparar los esfuerzos máximos de las probetas ensayadas.
3. Lo anterior deja intuir que las fibras de fique son susceptibles de ser utilizadas como refuerzo de matrices de naturaleza polimérica, en particular de polietileno, empleando los tratamientos superficiales planteados en el presente estudio.
4. La orientación de las fibras naturales es de vital importancia en las propiedades mecánicas del compuesto, pues dependiendo de la dirección de la carga éstas trabajan de una mejor forma y mantendrán una mayor sinergia con la matriz reduciendo los espacios vacíos entre fibra y adhesivo.
5. Las imágenes (no oficiales en el presente documento, pero si llevadas a cabo por el ingeniero y tutor del anteproyecto) tomadas a partir de una microscopía electrónica de barrido en una probeta a tracción reveló que, la presencia de incrustaciones de aire producto de las burbujas, fueron las posibles causas de la formación de fallas prematuras, lo que causó cavidades en la matriz, las cuales se convirtieron en concentradores de esfuerzos, promoviendo la formación de grietas que probablemente causaron su ruptura prematuramente.

11. RECOMENDACIONES

- ✓ Cambiar la presentación del adhesivo termofusible hot melt del bloque en lata, por el de granulado. Esto ayudará en disminuir considerablemente el tiempo de calentamiento del adhesivo en el horno y posteriormente el vertimiento del adhesivo en fase líquida a la matriz.

Con el cambio del adhesivo a granulado, ayudará a que se distribuya más uniformemente por toda la matriz, lo que contribuye a disminuir la aparición de burbujas de aire.

- ✓ Se recomendaría trabajar en un laboratorio con presión controlada para disminuir la aparición de aquellas burbujas de aire dentro de la resina, solo cuando se esté haciendo el proceso de moldeo del adhesivo a la matriz.
- ✓ La fabricación de una matriz-probeta, debería de hacerse en un solo día y no en dos como ocurrió en varias ocasiones. Debido a que en dos tiempos aumenta el riesgo de que el molde se fije aún más a la matriz y su sacada de la misma, ponga en riesgo la integridad del molde.
- ✓ Para futuros trabajos de grado, se debería de ensayar con fibra de fique sin unir sus hebras y colocarlos en el molde, justo como viene de fábrica.

REFERENCIAS

- [1] Perez M., Romero, M; Suarez, E.; Vaughan N. (2015). Manual de citas y referencias bibliográficas. (2da edición), Bogotá. Ediciones Uniandes.
- [2] Miravete A., Cuarteto J. (2003). Materiales compuestos. Volumen II, Barcelona. Editorial Reverté.
- [3] Meyers M.; André C., Kumar K. Capítulo 15- Materiales compuestos. Pág. 765-814. Editorial Cambridge University Press.
- [4] Canedo L., Eduardo C, Laura F., Severino A. (2013). Aplicaciones industriales y tecnológicas del transporte en medios porosos (págs. 37-62). Editorial Springer editores.
- [5] Chawla K,. (2019). Materiales Compuestos, 4ta edición. Editorial Springer, Nueva York, NY.
- [6] Nagalakshmaiah M; Afrin S. Compuestos ecológicos para aplicaciones automotrices 2019; Serie de publicaciones Woodhead en ciencia e ingeniería de materiales compuestos, páginas 197-215.
- [7] Velásquez, S; Peláez G; Giraldo D; (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. Informador Técnico, volumen 80, 77-86.
- [8] Delvasto, S., Toro, E., Perdomo, F. and Mejía R. An appropriate vacuum technology for manufacture of corrugated fique fiber reinforced cementitious sheets. Construction and Building Materials, 24, 2010, p. 187-192.
- [9] En línea. Recuperado de: https://www.jowat.com/additional-data-sheets/826/Englisch/P007651693-3899_englisch.PDF
- [10] Vincent C, Álvarez S, Zaragoza C, José L. Principales Polímeros Comerciales. Valencia: Editorial de la UPV. s.f. p. 49-51

- [11] Ficha técnica producto: Resina P-856. Químicos Pereira.
- [12] SUÁREZ, JOSE L; (2018). Propiedades mecánicas dentro y fuera del plano de compuestos de resina de poliéster reforzados con fibras vegetales. Revista Facultad de Escuela de Ingeniería de Antioquia, volumen 2018, número 90, 21p.
- [13] Gil, Alexander; (2012). Resinas de poliéster, guía de manejo. Universidad Eafit, revista grupo de investigación de materiales, 14p.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha Técnica Resina P-856

FICHA TECNICA

PRODUCTO

RESINA P-856

SINONIMOS: Resina polyester, Cris talan 856.

DESCRIPCIÓN: De la familia de Polímeros en solución, El poliser P-115 es una resina poliéster no saturada en estireno, rígida, de media reactividad y viscosidad, en solución de estireno. El poli ser P-115^a se suministra pre acelerado.

PELIGRO: líquido y vapores inflamables. Nocivo si es ingerido. Inhalado o absorbido a través de la piel. Genera irritación dermal, ocular y al tejido del tracto respiratorio. Afecta el sistema nervioso central, hígado y el sistema reproductivo.

PROPIEDAD	UNIDAD	ESPECIFICACIONES	ANÁLISIS
GEL TIME	MINUTOS	8-10	8,15
VISCOSIDAD	CP	500-650	530
ACIDEZ	Mg/ gr KOH	15-30	16
SOLIDOS	%	59-63	60
TIXOTROPIA	INDICE	0-0	0

CERTIFICAMOS QUE LOS DATOS REPORTADOS ESTAN BASADOS EN LA INFORMACION SUMINISTRADA POR NUESTRO PROVEEDOR. NO EXIME AL COMPRADOR DE HACER SUS PROPIOS ANÁLISIS

**AVENIDA SUR # 23-109 TEL 321 44 44
PEREIRA RISARALDA**

QUIMICOS PEREIRA

DISTRIBUCIONES

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS:

Efectos por exposición aguda:

Contacto ocular: Genera irritación ocular, enrojecimiento, ardor y daños en la cornea.

Contacto cutáneo: Genera irritación dérmica. Los síntomas incluyen enrojecimiento, picazón y ardor. Puede generar ampollas. Puede ser absorbido a través de la piel.

Ingestión: Puede generar irritación al tracto gastrointestinal. Los síntomas pueden incluir náusea, vómito y diarrea. Puede generar depresión al sistema nervioso central. Los síntomas pueden incluir letargo y adormecimiento. Puede causar posibles convulsiones y riesgo de edemas pulmonares.

Inhalación: El estireno posee propiedades narcóticas. La inhalación excesiva de vapores puede producir dolor de cabeza, mareo, incoordinación, fatiga, náuseas, pérdida del apetito y pérdida de la conciencia. Se requiere la exposición a altas concentraciones ambientales para la aparición de efectos sistémicos y anestésicos (en general, concentraciones superiores a la 376 ppm).

Efectos por exposición crónica:

El contacto repentino con la piel puede causar descamación, resequeamiento o cuarteamiento, erupciones cutáneas. La exposición crónica de los ojos puede causar irritación conjuntival.

CONTROL A LA EXPOSICION/ PROTECCION PERSONAL:

Equipos de protección personal:

Respiratoria: Evitar la inhalación de sus vapores. Usar equipo respiratorio con cartucho químico universal o para vapores orgánicos. En casos de emergencia o situaciones donde los niveles de exposición son desconocidos se recomienda usar un respirador con línea de aire con presión positiva.

Cutánea: Usar guantes protectores de PVC, Neopreno, Nitrilo que provean una barrera protectora y eviten el contacto con la piel.

Ojos y cara: Usar gafas de seguridad. Usar careta protectora.

Otro tipo de protección requerida: Usar delantal y/o ropa protectora adecuada de PVC. Disponer de lavajeyes y duchas de emergencia.

QUIMICOS PEREIRA DISTRIBUCIONES

REACTIVIDAD Y ESTABILIDAD:

Estabilidad: El estireno monómero es inhibido con TBC (4-terc-butilcatecol) Inhibidor. El calor excesivo degrada este material.

Incompatibilidades: Debe evitarse el contacto con agentes oxidantes, catalizadores para la polimerización vinilica, como peróxidos y ácidos fuertes; halógenos y haluros de hidrogeno, cloruro de aluminio. También deben evitarse la soda caustica y los glicoles que remueven el inhibidor. El estireno es corrosivo para el cobre, las aleaciones de cobre y disuelve el caucho. Los vapores son explosivos cuando son expuestos a calor o llamas; reacciona con oxígeno sobre 40°C (104 °F) para formar peróxido explosivo. En la exposición a la luz y agua, el estireno polimeriza lentamente y oxida formando peróxidos.

Condiciones a evitar: Calor, llamas, fuerte de ignición, aire, luz y materiales incompatibles.

CERTIFICAMOS QUE LOS DATOS REPORTADOS ESTAN BASADOS EN LA INFORMACION SUMINISTRADA POR NUESTRO PROVEEDOR. NO EXIME AL COMPRADOR DE HACER SUS PROPIOS ANÁLISIS

AVENIDA SUR # 23-109 TEL 321 44 44
PEREIRA RISARALDA

Anexo 2: Ficha de datos de seguridad del Catalizador

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 5.0 Fecha de revisión 28.09.2012

Fecha de impresión 28.12.2016

GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : Luperox® DDM-9, 2-Butanone peroxide solution

Referencia : 495050

Marca : Aldrich

No. CAS : 1338-23-4

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Sigma-Aldrich
3050 Spruce Street
SAINT LOUIS MO 63103
USA

Teléfono : +1 800-325-5832

Fax : +1 800-325-5052

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : +1-703-527-3887 (CHEMTREC)

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008 [UE-GHS/CLP]

Toxicidad aguda, Oral (Categoría 4)

Corrosión cutáneas (Categoría 1B)

Clasificación de acuerdo con las Directivas de la UE 67/548/CEE ó 1999/45/CE

Puede provocar incendios. Provoca quemaduras. Nocivo por ingestión.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008 [UE-GHS/CLP]

Pictograma



Palabra de advertencia : Peligro

Indicación(es) de peligro

H302

Nocivo en caso de ingestión.

H314

Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Declaración(es) de prudencia

P280

Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.

P305 + P351 + P338

EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el

De acuerdo con la Directiva Europea 67/548/CEE, y sus enmiendas.

Símbolo(s) de peligrosidad



Frase(s) - R

R 7

Puede provocar incendios.

R22

Nocivo por ingestión.

R34

Provoca quemaduras.

Frase(s) - S

S 3/7

Consérvese el recipiente bien cerrado y en lugar fresco.

S14

Consérvese lejos de . ?.

S26

En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.

S36/37/39

Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.

S45

En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrese la etiqueta).

2.3 Otros Peligros - ninguno(a)

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

3.2 Mezclas

Sinónimos

: Methyl ethyl ketone peroxidesolution
2-Butanone peroxidesolution

Formula

: C₈H₁₈O₈

Peso molecular

: 210,22 g/mol

Componente	Clasificación	Concentración
2-Butanone peroxide		
No. CAS	1338-23-4	Org. Perox. A; Acute Tox. 4; Skin Corr. 1B; H240, H302, H314 O. C. R 7 - R22 - R34
No. CE	215-661-2	

Para el texto completo de las frases de Riesgo y Seguridad mencionadas en esta Sección, ver la Sección 16

4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel

Quítese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados. Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico.

Si es tragado

No provocar el vómito. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2	Principales síntomas y efectos, agudos y retardados
4.3	Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente sin datos disponibles
5.	MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS
5.1	Medios de extinción Medios de extinción apropiados Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.
5.2	Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla Óxidos de carbono
5.3	Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.
5.4	Otros datos sin datos disponibles
6.	MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL
6.1	Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacuar el personal a zonas seguras.
6.2	Precauciones relativas al medio ambiente No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.
6.3	Métodos y material de contención y de limpieza Empapar con material absorbente inerte y eliminar como un desecho especial. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.
6.4	Referencia a otras secciones Para eliminación de desechos ver sección 13.
7.	MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO
7.1	Precauciones para una manipulación segura Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evitar la inhalación de vapor o neblina.
7.2	Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas. Temperatura de almacenaje recomendada: 2 - 8 °C Ventilar periódicamente. Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia.
7.3	Usos específicos finales sin datos disponibles
8.	CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL
8.1	Parámetros de control Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.
8.2	Controles de la exposición Controles técnicos apropiados Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara

Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro. Visera protectora (mínimo 20 cm). Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser controlados antes de la utilización. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

Protección Corporal

Traje de protección completo contra productos químicos. El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores de aire son apropiados, usar un respirador que cubra toda la cara con combinación multi-proposito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387) respiradores de cartucho de respuesta para controles de ingeniería. Si el respirador es la única protección, usar un respirador suministrado que cubra toda la cara Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a) Aspecto	Forma: líquido
b) Olor	sin datos disponibles
c) Umbral olfativo	sin datos disponibles
d) pH	sin datos disponibles
e) Punto de fusión/ punto de congelación	sin datos disponibles
f) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	sin datos disponibles
g) Punto de inflamación	sin datos disponibles
h) Tasa de evaporación	sin datos disponibles
i) Inflamabilidad (sólido, gas)	sin datos disponibles
j) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	sin datos disponibles
k) Presión de vapor	sin datos disponibles
l) Densidad de vapor	sin datos disponibles
m) Densidad relativa	sin datos disponibles
n) Solubilidad en agua	sin datos disponibles
o) Coeficiente de reparto	sin datos disponibles

q)	Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r)	Viscosidad	sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	sin datos disponibles
9.2	Otra información de seguridad	sin datos disponibles
10.	ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
10.1	Reactividad	sin datos disponibles
10.2	Estabilidad química	sin datos disponibles
10.3	Posibilidad de reacciones peligrosas	sin datos disponibles
10.4	Condiciones que deben evitarse	sin datos disponibles
10.5	Materiales incompatibles	sin datos disponibles
10.6	Productos de descomposición peligrosos	Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles
11.	INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA	
11.1	Información sobre los efectos toxicológicos	
	Toxicidad aguda	sin datos disponibles
	Inhalación:	sin datos disponibles
	Corrosión o irritación cutáneas	sin datos disponibles
	Lesiones o irritación ocular graves	sin datos disponibles
	Sensibilización respiratoria o cutánea	sin datos disponibles
	Mutagenicidad en células germinales	sin datos disponibles
	Carcinogenicidad	
	IARC:	No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.
	Toxicidad para la reproducción	sin datos disponibles
	Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única	sin datos disponibles
	Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas	

Efectos potenciales sobre la salud

Inhalación	Puede ser nocivo si se inhala. El material es extremadamente destructivo para los tejidos de las membranas mucosas y las vías respiratorias superiores.
Ingestión	Nocivo por ingestión. Provoca quemaduras.
Piel	Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Provoca quemaduras en la piel.
Ojos	Provoca quemaduras en los ojos.

Información Adicional

RTECS: sin datos disponibles

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA**12.1 Toxicidad**

sin datos disponibles

12.2 Persistencia y degradabilidad

sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación

sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo

sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

sin datos disponibles

12.6 Otros efectos adversos

sin datos disponibles

13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN**13.1 Métodos para el tratamiento de residuos****Producto**

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

Envases contaminados

Eliminar como producto no usado.

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE**14.1 Número ONU**

ADR/RID: 3105

IMDG: 3105

IATA: 3105

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: ORGANIC PEROXIDE TYPE D, LIQUID (METHYL ETHYL KETONE PEROXIDE(S))

IMDG: ORGANIC PEROXIDE TYPE D, LIQUID (METHYL ETHYL KETONE PEROXIDE(S))

IATA: Peróxido orgánico de tipo D, líquido (Peróxido(s) de metil etil cetona)

Provisiones Especiales: "Keep away from heat" label required.

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 5.2

IMDG: 5.2

IATA: 5.2 (HEAT)

14.4 Grupo embalaje

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no

IMDG Contaminante marino: no

IATA: no

Anexo 3: Norma Técnica Internacional ASTM D-30309 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica, para probetas aplicadas a tensión.

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D3039/D3039M – 17

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D3039/D3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method determines the in-plane tensile properties of polymer matrix composite materials reinforced by high-modulus fibers. The composite material forms are limited to continuous fiber or discontinuous fiber-reinforced composites in which the laminate is balanced and symmetric with respect to the test direction.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.4 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminale Test Methods.

Current edition approved Oct. 15, 2017. Published November 2017. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 2014 as D3039/D3039M – 14. DOI: 10.1520/D3039_D3039M-17.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- D2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics
- D3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials
- D3878 Terminology for Composite Materials
- D5229/D5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus
- E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
- E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages
- E456 Terminology Relating to Quality and Statistics
- E1012 Practice for Verification of Testing Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application
- E1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages

3. Terminology

3.1 **Definitions**—Terminology D3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D883 defines terms relating to plastics. Terminology E6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E456 and Practice E177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D3878 shall have precedence over the other standards.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 **Note**—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental dimensions, shown within square brackets: [M] for mass, [L] for length, [T] for time, [Θ] for thermodynamic temperature,

used to measure the specimen thickness when at least one surface is irregular (such as the bag-side of a laminate). A micrometer with a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball interface or with a flat anvil interface shall be used to measure the specimen thickness when both surfaces are smooth (such as tooled surfaces). A micrometer or caliper, with a flat anvil interface, shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample dimensions. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.0025 mm [± 0.0001 in.] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.025 mm [± 0.001 in.] is adequate for width measurement.

7.2 Testing Machine—The testing machine shall be in conformance with Practices E4 and shall satisfy the following requirements:

7.2.1 Testing Machine Heads—The testing machine shall have both an essentially stationary head and a movable head.

7.2.2 Drive Mechanism—The testing machine drive mechanism shall be capable of imparting to the movable head a controlled velocity with respect to the stationary head. The velocity of the movable head shall be capable of being regulated as specified in 11.3.

7.2.3 Force Indicator—The testing machine force-sensing device shall be capable of indicating the total force being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the force with an accuracy over the force range(s) of interest of within ± 1 % of the indicated value. The force range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

NOTE 1—Obtaining precision force data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate force are being determined, place extreme requirements on the load cell and its calibration. For some equipment, a special calibration may be required. For some combinations of material and load cell, simultaneous precision measurement of both elastic modulus and ultimate strength may not be possible and measurement of modulus and strength may have to be performed in separate tests using a different load cell range for each test.

7.2.4 Grips—Each head of the testing machine shall carry one grip for holding the test specimen so that the direction of force applied to the specimen is coincident with the longitudinal axis of the specimen. The grips shall apply sufficient lateral pressure to prevent slippage between the grip face and the coupon. If tabs are used the grips should be long enough that they overhang the beveled portion of the tab by approximately 10 to 15 mm [0.5 in.]. It is highly desirable to use grips that are rotationally self-aligning to minimize bending stresses in the coupon.

NOTE 2—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in untapped coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with either hydraulic grips or an emery cloth interface, or both.

7.2.5 System Alignment—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment

during tensile testing. In addition to Practice E1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (B_y) and width plane (B_z) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

7.2.5.2 When evaluating system alignment, it is advisable to perform the alignment check with the same coupon inserted in each of the four possible installation permutations (described relative to the initial position): initial (top-front facing observer), rotated back to front only (top back facing observer), rotated end for end only (bottom front facing observer), and rotated both front to back and end to end (bottom back facing observer). These four data sets provide an indication of whether the bending is due to the system itself or to tolerance in the alignment check coupon or gaging.

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1 and Eq 2 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon. Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process

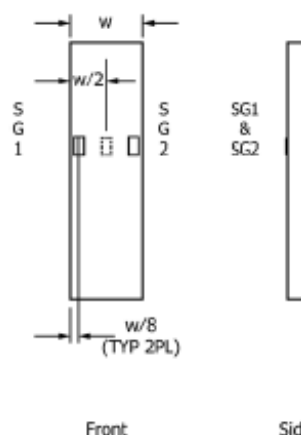


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon



DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:
NO DECIMAL .X .XX
±.3 ±.1 ±.3
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [0] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6 μ (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [0], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

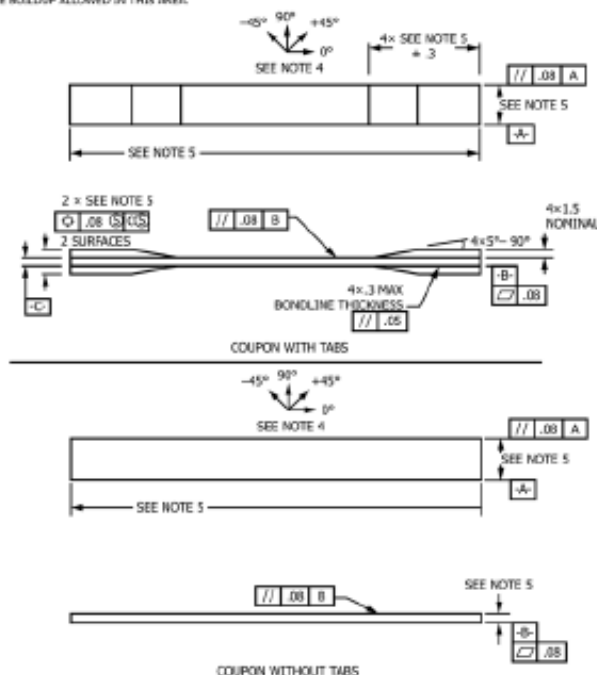


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

10.3 If no explicit conditioning process is performed, the specimen conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

NOTE 7—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

11.2 General Instructions:

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

11.2.2 Following final specimen machining, measure the specimen. The thickness and width shall be measured at three places in the gage section and report the averages of the thickness and width for the calculation of area to the accuracy in 7.1. Determine the specimen area as $A = w \times h$. Record the average area in units of mm^2 (in^2).

NOTE 8—The test requester may request that additional measurements be performed after the machined specimens have gone through any conditioning or environmental exposure.

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of force application to maintain a nearly constant strain rate, as measured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard

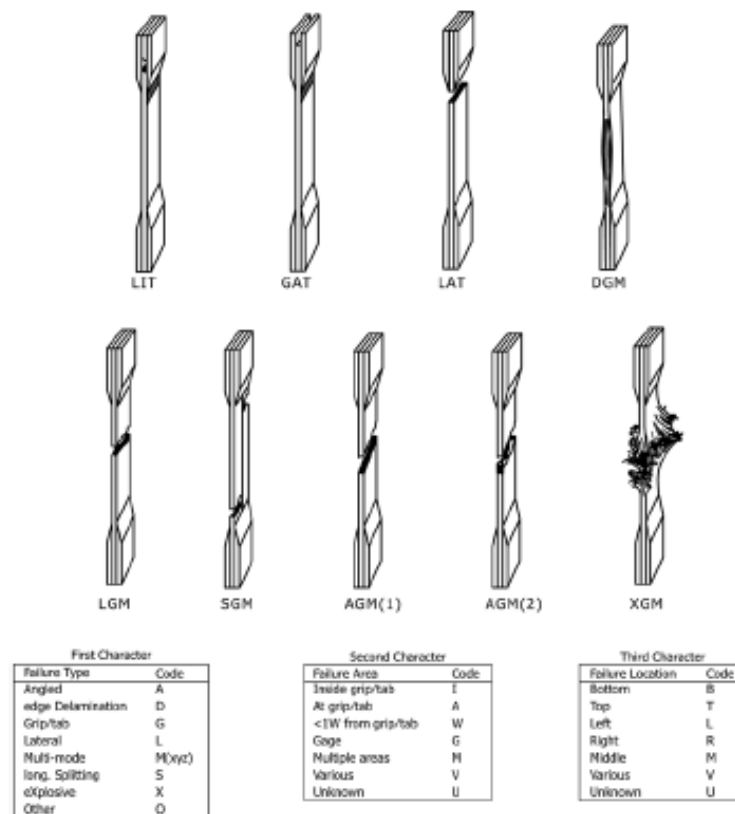


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

13.3.1 Tensile Chord Modulus of Elasticity—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 8. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

13.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{\text{chord}} = \Delta \sigma / \Delta \epsilon \quad (8)$$

where:

- E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta \sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta \epsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

13.3.2 Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 13—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

13.4 Poisson's Ratio:

NOTE 14—If bonded resistance strain gages are being used, the error

Anexo 4: Especificación técnica de maquina universal de ensayo UMIB 600S

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

SERIE	UMIB 600	UMIB 1000
Fuerza máxima	600 kN	1000 kN
Medida de la fuerza	Célula de carga universal (tracción-compresión) de bandas extensométricas. Posibilidad de montaje de otras células de carga inferior a la nominal de la máquina	
Repetibilidad de la célula de carga	Mejor o igual que $\pm 0.05\%$	
Campo de medida	1 % al 100 % de la capacidad nominal de la célula de carga (autoescala)	
Clase	0.5 según ISO 7500	
Resolución (en fuerza)	5 dígitos con coma flotante	
Luz libre vertical, con célula de carga y cabezales estándar	Ajustable de 0 a 1000 mm	
Nº de columnas de guía	4 columnas. Cromadas y rectificadas, con topes mecánicos de fin de carrera, regulables en altura.	
Distancia libre entre columnas	520 x 250 mm	710 x 405 mm
Travesaño móvil	Movimiento automático por medio de actuadores laterales hidráulicos síncronos Con bloqueo hidráulico (superior) y mecánico (inferior)	
Medida de desplazamiento	Encoder. Opcional tipo LVDT interno en el pistón	
Alimentación	Trifásica 380V más neutro y tierra, 50/60 Hz (a especificar)	
Potencia	3 kW	4 kW
Parada de emergencia	Tipo seta, situada en el mando de apertura y cierre de mordazas y en la mesa de trabajo	
Dimensiones: marco (mm)	1020 x 650 x 2450 (h)	1200 x 650 x 2600 (h)
Peso aproximado (sin dispositivos de ensayo)	2100 kg	3500 kg
Dimensiones: mesa de trabajo	1200 x 800 x 900 mm (ancho x profundo x alto) Peso aprox. 40 kg.	
Fundación	La instalación requiere de la ejecución de una fundación acorde a los planos e indicaciones facilitadas por IBERTEST, debe permitir el alojamiento del pistón y asegurar una resistencia adecuada.	

Para máquinas de 2000 kN por favor consultar
IBERTEST se reserva el derecho de modificar las especificaciones sin previo aviso